

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 149 768

②1 N° d'enregistrement national : 23 05997

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : A 61 C 13/38 (2023.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 13.06.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 20.12.24 Bulletin 24/51.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *Cabinet Dentaire Européen 5785 -  
Société d'exercice libéral par action simplifiée* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Azria Alexandre et Monville Jean-  
Michel.

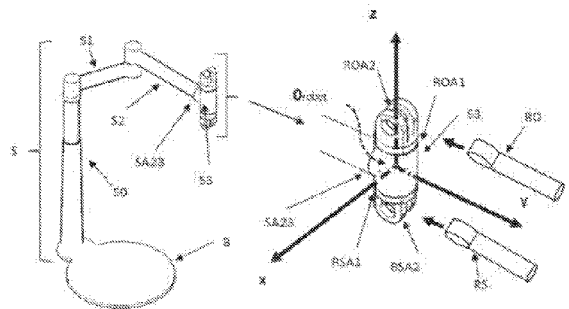
⑦3 Titulaire(s) : *Cabinet Dentaire Européen 5785 -  
Société d'exercice libéral par action simplifiée.*

⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 Dispositif robotisé de taillage de dent en bouche du patient avec plateforme de base, fauteuil patient, structure-support pour bras porte-accessoires et bras porte-outil contrôlés par système informatique.

⑤7 Dispositif robotisé permettant de réaliser, directement dans la bouche du patient et de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d'éléments prothétiques partiels ou totaux et qui est constitué d'une plateforme de base (B), d'un fauteuil avec repose tête et têtère pour installation et maintien du patient (F), d'une structure-support articulée très rigide (S) à l'extrémité de laquelle est fixée, sur un manchon vertical (S3) en bout de structure, la partie robotisée composée de deux bras, un bras porte-outil (RO) et un bras porte-accessoires (RS), ladite structure-support (S) assurant le positionnement de cette partie robotisée au plus près de la zone d'intervention sur le patient et constituant, par le manchon (S3), une base physique très précise du système orthonormé de référence pour la maîtrise des déplacements et des efforts des éléments mobiles de la partie robotisée dont les dimensions sont de fait réduites et dont le traitement des informations, le pilotage et le contrôle sont assurés par le propre système informatique dédié du dispositif.

Figure à publier pour l'abrégé: Fig 7



FR 3 149 768 - A1



## **Description**

### **Titre de l'invention : Dispositif robotisé de taillage de dent en bouche du patient avec plateforme de base, fauteuil patient, structure-support pour bras porte-accessoires et bras porte-outil contrôlés par système informatique.**

#### **Domaine technique de l'invention**

[0001] L'invention concerne le domaine des robots dentaires utilisés lors des interventions pour préparations corono-périphériques partielles (onlay, inlay, facette) ou totales (couronne).

#### **Etat de la technique antérieure**

[0002] Dans tout dispositif mécanique automatisé avec manipulation ou usinage de pièces il est indispensable de définir deux systèmes de coordonnées avec chacun une origine matérielle à la fois très précise, très rigide et très stable.

Le premier système de coordonnées est dit "système de coordonnées machine", l'origine de ce système est désignée par le terme "zéro machine", elle correspond à un point fixe prédéfini et immuable propre à la machine. C'est le point de référence et de départ pour tous les autres points utilisés par ailleurs dans tout processus de manipulation ou d'usinage. En particulier la position "repos" et de "départ" de tous les organes d'usinage de la machine est définie par rapport à ce "zéro machine".

Ensuite, un autre système de coordonnées est défini au niveau de la pièce dont le zéro est dit "zéro pièce" et qui correspond au point de départ des déplacements d'usinage pour le programme qui pilote l'usinage. Ce système de coordonnées est bien évidemment au plus près de la pièce à usiner, voir sur la pièce à usiner. Sa localisation par rapport dans le système de coordonnées machine doit pouvoir être effectuée à tout moment de façon très précise.

Sur une machine-outil à commande numérique les conditions de rigidité et de stabilité, et donc de précision, sont relativement aisées à obtenir étant donné la structure robuste et fixe de la machine.

De plus les organes porteurs des outils d'usinage sont fixés à des parties de la machine également rigides de sorte que les déformations sont, sinon inexistantes, du moins tout à fait infimes et négligeables. Les conditions de stabilité requises sont donc toujours satisfaites et il n'est pas rare d'obtenir des précisions de l'ordre du micron, voire mieux, dans certains usinages sur machine.

[0003] Dans le cas d'un robot, il est également important de pouvoir définir ces deux systèmes de coordonnées, mais il est beaucoup plus difficile de réunir les conditions de

rigidité et de stabilité nécessaires pour obtenir une très grande précision dans l'exécution des tâches effectuées par le robot. La localisation précise du "zéro pièce" par rapport au "zéro machine" constitué par la base fixe du robot est souvent très délicate.

En effet, au niveau de la configuration matérielle, les robots sont généralement constitués d'un ou plusieurs bras, chaque bras comprenant un certain nombre de segments plus ou moins longs reliés entre eux par des articulations. Et en bout de bras on trouve l'organe destiné à réaliser la fonction de manipulation ou d'usinage.

Les articulations sont de deux types : les articulations rotoïdes et les articulations prismatiques.

L'articulation rotoïde est une articulation de type pivot qui permet la rotation autour d'un axe qui leur est commun. La situation relative entre les deux éléments reliés est donnée par l'angle autour de cet axe. Une des difficultés est la réalisation matérielle d'une articulation rotoïde sans jeu dit de déversement. Un tel jeu entraîne un décalage entre les axes de rotation des deux éléments de l'articulation et donc une grande imprécisions dans les mouvements.

L'articulation prismatique est une articulation de type glissière, le mouvement entre deux éléments est donc une translation le long d'un axe commun, ce qui signifie qu'il se produira un déplacement linéaire mesuré par une distance le long de cet axe. Là encore il est difficile d'obtenir une articulation prismatique sans jeu, la solution souvent utilisée est d'augmenter la longueur de la glissière ce qui alourdit sensiblement l'ensemble considéré.

La base du robot qui constitue le point de départ des mouvements, le "système de coordonnées machine" avec le "zéro machine", est le plus souvent éloignée des embouts de segments sur lesquels sont placés les outils ou les organes de manipulation, organes qui sont en contact avec la pièce où se situe le "zéro pièce". Ainsi, en plus des problèmes de jeux dans les différentes articulations, tous les organes du robot qui se trouvent entre la base et la pièce à manipuler sont soumis à de multiples contraintes de traction, compression, flexion et/ou torsion qui génèrent des déformations et même parfois des oscillations et des vibrations des différents organes. Le problème est d'autant plus aigu que ces organes sont de grandes longueurs.

La localisation du "zéro pièce" par rapport au "zéro machine" est ainsi souvent assez peu précise et le contrôle rigoureux des mouvements et des efforts en bout de bras de robot est rendu compliqué.

Ceci a pour conséquence le fait que l'utilisation de robots de manière entièrement automatisée pour des tâches nécessitant un très haut niveau de précision est en général très délicate.

[0004] Bien sûr, dans bien des applications, comme par exemple les manipulations d'objets

peu fragiles, un niveau de précision moins élevé reste compatible avec les impératifs de l'application et il est alors possible de faire travailler le robot de manière entièrement automatique.

A l'opposé, il est bien évident que pour des applications spécifiques et limitées, dans le domaine de la recherche ou du spatiale par exemple, des robots très particuliers peuvent être conçus pour être pilotés et contrôlés de manière totalement automatisée. Mais la conception, le développement, la fabrication et la mise au point de ces robots aboutissent à des coûts qui sont sans comparaison par rapport à ce qu'il est possible d'envisager dans les autres domaines.

Mais pour les applications qui nécessitent un très haut niveau de précision dans le domaine industriel général ou même le domaine médical dit "grand public" l'utilisation de robots fonctionnant de façon entièrement automatique reste sinon impossible du moins assez problématique.

[0005] C'est en particulier le cas pour les robots dans les applications dentaires.

Et ce d'autant plus que, dans ce domaine, le socle de base du robot qui constitue le "système de référence" est, pour des raisons pratiques, très souvent assez éloigné de la zone d'intervention. Ceci nécessite donc de grands bras de robot constitués de segments de grande longueur entre les articulations [Fig.1]. Il s'en suit des porte-à-faux importants provoquant, avec le poids des articulations et celui des segments eux-mêmes, une amplification des jeux internes des pièces, des déformations élastiques, des oscillations et des vibrations comme déjà évoqué.

Il faut également noter que cette géométrie à grands bras de robot complique et rend très onéreuse la réalisation concrète du système robotisé, non seulement du fait des dimensions importantes des éléments constituant la partie robotisée mais également parce que le système de contrôle doit être particulièrement élaboré pour tenter de pallier au moins partiellement les imprécisions liées à la géométrie et aux masses en jeu, sans toutefois pouvoir les compenser totalement.

[0006] Certaines solutions ont été proposées pour tenter de limiter ces problèmes d'imprécision.

Par exemple, une option consiste à encore amincir les segments et à réduire la taille des articulations dans le but de limiter les masses et ainsi les efforts qui y sont liés et les déformations qui s'en suivent. Mais une telle solution aboutit à réduire les moments d'inerties des pièces concernées et ne permet donc pas de diminuer significativement les déformations [Fig.1].

Une autre option consiste à faire l'inverse, c'est-à-dire à avoir des segments plus gros et des articulations plus volumineuses afin de réduire les déformations. Mais il s'en suit alors une augmentation importante des efforts à mettre en œuvre pour les déplacements ainsi que des inerties dynamiques liées aux mouvements et n'améliore pas

vraiment le niveau de précision.

Bien sûr des progrès importants ont été enregistrés dans le domaine des moyens informatiques de pilotage et de contrôle des robots, progrès qui permettent tout de même des progrès certains mais cependant insuffisants pour éliminer de façon significative les problèmes précités.

[0007] Une autre solution quelques fois utilisée consiste à fixer à la mandibule du patient une large structure qui comprend souvent un rail semi circulaire sur lequel circule un minirobot qui tient l'outil de taillage, une caméra de prise de vues dont la position est décalée par rapport à l'outil de taillage et éventuellement également un étrier qui vient se positionner sur une dent du patient.

Cette structure constitue le système de référence "zéro machine", très proche de la zone d'intervention, par rapport auquel les déplacements des têtes de robot sont ainsi définis, pilotés et contrôlés.

[0008] Dans le but d'améliorer le niveau de précision, il convient également de limiter les problèmes de déformation mentionnés précédemment. Mais ceci ne peut être fait qu'à condition que la structure soit suffisamment rigide, ce qui ne va pas sans un encombrement et donc un poids important.

Ainsi, une telle solution présente quelques inconvénients. Tout d'abord elle fait courir certains risques de blessure au patient qui doit de plus être en mesure de supporter le poids assez conséquent d'un tel équipement fixé à son maxillaire, ensuite elle entraîne, également pour le patient, un inconfort certain et enfin le temps d'adaptation, de mise en place, de réglage et de retrait de cette structure est très probablement relativement long.

De plus, du fait de la géométrie et des encombrements, les possibilités de déplacement du robot porte-outil de taillage, de la caméra et de l'étrier sont probablement assez limitées.

En particulier, la face extérieure et le dessus de la dent sont facilement accessibles mais pour accéder aux autres parties de la dent d'autres dispositions doivent être prises et d'autres dispositifs doivent être ajoutés. Enfin, l'enregistrement direct d'images de la totalité de la zone de travail pendant le déroulement de l'opération se complique sensiblement [Fig.2].

[0009] Il a aussi été proposé de fixer une structure complexe et encombrante à la tête du patient [Fig.3]. Une telle solution présente pratiquement les mêmes inconvénients que la solution précédente sans apporter des améliorations vraiment significatives.

[0010] En conclusion, même si les progrès au niveau des systèmes de pilotage et de contrôle permettent de diminuer les incertitudes au niveau de la localisation et du guidage de l'outil, il demeure encore certaines imprécisions en bout de bras de robot qui limitent les possibilités d'utilisation des robots pour l'exécution automatisée des tâches qui sont

nécessaires pour une opération d'implant dentaire.

En particulier le taillage de dents qui est une intervention délicate que les praticiens redoutent souvent car elle nécessite une extrême concentration, elle prend beaucoup de temps et les risques d'erreur sont nombreux.

### **Présentation de l'invention**

[0011] Le but de l'invention est d'apporter des améliorations déterminantes au niveau du robot dentaire et ainsi de proposer un dispositif robotisé permettant de réaliser, directement dans la bouche du patient et de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d'éléments prothétiques partiels (inlay, onlay facette) ou totaux (couronne).

Ce système est schématisé sur la [[Fig.4]], il est constitué :

- d'une plateforme de base placée au sol (B) [Fig.6],
- d'un fauteuil instrumenté fixé à la plateforme de base et qui est pourvu d'un repose tête avec têtière pour installation et maintien du patient (F) [Fig.5],
- d'une structure-support très rigide (S) [Fig.6], fixée à la plateforme de base (B) et placée sur un côté du fauteuil, à proximité du repose tête et qui comprend une colonne verticale (SO), deux segments horizontaux articulés (S1) et (S2) et, en bout, un court manchon pivotant (S3) qui se bloque à deux positions verticales à 180°, aucune des articulations de cette structure-support n'étant motorisée,
- des deux bras de la partie robotisée [Fig.7], le bras porte-outil de taillage (RO) et le bras porte-accessoires (RS) portant l'étrier (ET) et la caméra 3D (CA), chacun des bras étant fixé à une extrémité du manchon vertical (S3) de la structure-support (S) par une articulation rotoïde motorisée à axe vertical,
- du système informatique [Fig.4] de traitement des informations, de pilotage et de contrôle de la partie robotisée (I).

[0012] La structure-support articulée (S) placée à côte du fauteuil (F) du patient est un ensemble très rigide qui assure le soutien et le positionnement de la partie robotisée tout près de la zone d'intervention au niveau du patient. Une fois les articulations bloquées, cette structure-support constitue la base physique de référence très précise pour la maîtrise des déplacements de tous les éléments mobiles de la partie robotisée qui y est attachée.

Il a été rappelé dans l'analyse de l'état de l'art l'importance en matière de machine automatique de la position qui doit rester quasiment immuable du "système de coordonnées machine" avec le "zéro machine".

Il a aussi été indiqué qu'un "système de référence pièce" avec le "zéro pièce" constitue, en complément du système précédent, un moyen pratique permettant de

faciliter le pilotage de la machine.

- La première caractéristique de l'invention est que ces deux notions y sont incorporées.  
C'est au centre du manchon (S3) en extrémité de structure-support (S) qu'est placée l'origine, le "zéro machine", du système de référence robot qui tient lieu de "système de coordonnées machine" que l'on qualifie en l'occurrence de "système de coordonnées robot" avec le "zéro robot" [[Fig.7]]. Et c'est au niveau d'un étrier en forme de fer à cheval placé par le bras porte-accessoires autour de la base de la dent à traiter du patient ou d'une dent voisine qu'est placé le "système de référence pièce" avec le "zéro pièce", que l'on qualifie ici de "système de référence dent" avec le "zéro dent" [[Fig.8]].
- La deuxième caractéristique de l'invention est le fait que l'origine, le "zéro robot" du "système de coordonnées robot", est située à proximité de la zone de travail au niveau de la bouche du patient. Ceci permet un dimensionnement réduit des organes constituant les bras de la partie robot, les segments qui les constituent sont en effet très courts, moins de 500 mm pour le premier segment et moins de 300 mm pour le second. Il en résulte une réduction très importante de tous les paramètres susceptibles de limiter la précision : poids des pièces, porte-à-faux, effets des éventuels jeux entre pièces, des flexions et torsions élastiques, des oscillations et des vibrations.
- La troisième caractéristique de l'invention réside dans la constitution même de la partie robot qui se présente sous la forme de deux bras distincts, le bras porte-outil (RO), qui, bien sûr, porte et manipule l'outil de taillage de la dent avec ses systèmes intégrés pour lubrification/aspersion et éclairage et le bras porte-accessoires (RS) qui porte et manipule l'étrier (ET) et la caméra 3D (CA). Le bras porte-outil (RO) est piloté avec pour système de référence le "système de coordonnées robot", mais les corrections éventuelles de trajectoires qui lui sont imposées sont définies à partir des déplacements enregistrés du "système de référence dent" par rapport au "système de coordonnées robot". Ce "système de référence dent" [Fig.8], par le fait qu'il est attaché à une dent du patient par l'étrier(ET) en forme de fer à cheval, suit en effet tous les mouvements éventuels du patient à ce niveau, même ceux qui ont une amplitude réduite. Ces mouvements sont enregistrés au niveau du système et convertis en corrections de trajectoires pour l'outil. Bien évidemment, compte tenu des capacités actuelles des systèmes informatiques, ces opérations sont réalisées extrêmement rapidement et de façon très précises.

### **Description détaillée de l'invention**

[0013] Comme déjà indiqué dans la présentation, l'invention se présente donc sous la forme d'un équipement complet [Fig.4] incluant les cinq éléments suivants :

1. La plateforme de base (B), [Fig.4], [Fig.6] et [Fig.7], placée au sol sur laquelle sont fixés le fauteuil du patient (F) et la structure-support (S).
2. Le fauteuil pivotant où le patient prend place en position semi-allongée, [Fig.4] et [Fig.5]. Ce fauteuil est doté d'un dispositif mécanique manuel de translation verticale d'une course maximale de 200 mm qui permet d'ajuster la hauteur en fonction de la taille du patient et de la zone d'intervention. Un repose-tête avec rabat frontal sous forme de têtillère pour le maintien de la tête du patient et un ensemble de capteurs permettant d'enregistrer les mouvements du patient viennent compléter les équipements du fauteuil. Deux boutons d'arrêt d'urgence, situés de part et d'autre du fauteuil permettent au praticien d'arrêter l'intervention à tout moment si nécessaire.
3. La structure-support (S) de la partie robotisée, [[Fig.6]] et [[Fig.7]]. Celle-ci est composée, en plus de la colonne (S0) fixée à la plateforme de base (B), d'un jeu de deux segments horizontaux (S1) et (S2), le premier d'une longueur inférieure à 500 mm et le second d'une longueur inférieure à 300 mm. La colonne et les deux segments sont reliés les uns aux autres par deux articulations rotoïdes à axe vertical (SA01) et (SA12).

Les segments de cette structure-support sont préférentiellement tubulaires étant donné que d'une part que l'intégration des articulations rotoïdes longitudinales est relativement aisée à réaliser puisque la motorisation peut être placée à l'intérieur même du segment et d'autre part que l'inertie de la section qui, avec la longueur, a une incidence déterminante sur la flexion en bout, reste relativement importante.

A titre d'exemple, on peut indiquer que pour un segment d'une longueur de 500 mm, d'un diamètre extérieur de 100 mm et d'un diamètre intérieur de 80 mm on aura, pour une charge de flexion en bout de 200 N, une valeur de flexion inférieure à  $4/100^e$  de mm tout en prenant en compte le poids propre du segment. Or le niveau de charge de 200 N pris ici en exemple est déjà supérieur à la charge qui est effectivement appliquée en bout de segment.

A l'extrémité du second segment horizontal (S2) de la structure-support (S), [Fig.7]] est attaché, par une articulation rotoïde à axe horizontal (SA23), un court manchon vertical pivotant (S3) d'une longueur inférieure à 200 mm sur lequel sont fixés, de part et d'autre, les deux bras de la partie robotisée (RO pour le bras porte-outil) et (RS pour le bras porte-accessoires).

Le "zéro robot" du "système de coordonnées robot" est placé au centre de ce manchon (S3) en extrémité de structure-support (S).

Dans une configuration préférentielle de l'invention toutes les articulations rotoïdes de la structure-support se présentent sous forme de deux roulements à une rangée de billes à contact oblique montés en "O" et préchargés, [[Fig.9]]. Un diagramme [[Fig.10]], qui sera détaillé dans la suite du descriptif, explique les avantages de la solution préférentielle choisie.

La structure support elle-même, n'est pas intégrée à la partie robot proprement dite, ainsi ses articulations ne sont pas motorisées et, étant donné que les articulations sont des articulations à roulements et qu'aucun effort important n'est à fournir pour cette opération, l'orientation des segments se fait manuellement. Le repère de positionnement en rotation de chaque articulation rotoïde de cette structure-support se présente sous forme d'une bille poussée par un petit ressort et qui vient se placer dans une empreinte en calotte sphérique à chaque position prédéterminée. Pour atteindre une autre position, il suffit d'une simple pression du praticien pour que la bille s'escamote. Chaque articulation est dotée d'un frein électromécanique de blocage actionné par le praticien quand la position désirée du manchon (S3) de base des bras de robot est atteinte juste avant la mise en fonction de la partie robot.

4. La partie robot fixée sur le court manchon vertical (S3), [Fig.6] et [Fig.7], qui constitue l'extrémité de la structure-support (S). Cette partie robot, [Fig.11] à [Fig.17], dont les dimensions sont réduites grâce à la proximité de la base constituées par le manchon (S3) de la structure-support (S), est composée de deux bras de robot (RO) et (RS). Chaque bras comprend deux segments articulés (ROS1 et ROS2) et (RSSI et RSS2) et le bloc-support du ou des organes commandés en bout : le bloc-support pour l'outil (PO) avec l'outil (OT) et ses systèmes intégrés de lubrification/aspersion et d'éclairage pour le bras (RO) et le bloc-support pour les accessoires (PS) avec l'étrier (ET) et la caméra 3D (CA). Chaque bras de robot est fixé à une extrémité du court manchon vertical (S3) de la structure-support (S) au moyen d'une double articulation rotoïde : une articulation à axe vertical, respectivement (ROA1) et (RSA1) et une articulation à axe horizontal, respectivement (ROA2) et (RSA2). Ces deux articulations, parties intégrantes de la partie robot, sont bien évidemment motorisées.

1. L'élément fixe en rotation de l'articulation à axe vertical (ROA1 et RSA1), qui constitue la base de chaque bras de robot, est directement attaché au court manchon (S3) de la structure-support (S) et l'élément tournant de cette articulation à axe vertical constitue le support de l'articulation rotoïde à axe horizontal (ROA2 et RSA2) à laquelle est fixé le premier segment du bras concerné du robot (ROS1

et RSS1).

Le deuxième segment de chaque bras de robot (ROS2 et RSS2), plus court que le premier, est relié au premier par une articulation rotoïde à axe horizontal (ROA3 et RSA3).

Comme pour la structure-support et pour les mêmes raisons, les segments qui constituent chaque bras de robot sont préférentiellement tubulaires mais de dimensions plus réduites.

2. Le bras porte-accessoires (RS), [Fig 11], qui est relié en bout du deuxième segment par une double articulation type croisillon, comprend le bloc-support des accessoires (PS) avec le mécanisme de manipulation à plusieurs articulations sphériques pour l'étrier (ET) à placer autour de la base de la dent à tailler ou d'une dent voisine et pour la caméra 3D (CA) qui produit les images permettant le pilotage et le contrôle pendant toute l'opération de taillage.
3. Le bras porte-outil (RO), [Fig 12], qui est relié en bout du deuxième segment par une double articulation type croisillon, comprend le bloc-support de l'outil (PO) avec le mécanisme motorisé de manipulation à plusieurs articulations sphériques et l'outil de taillage (OT) de la dent en bouche du patient.

Sur les figures 11 et 12 chaque bras est montré isolément pour simplifier la représentation mais il est bien évident que dans la configuration réelle les deux bras sont présents et fonctionnent en même temps.

A titre d'exemple et d'illustration, deux types d'outils, parmi tous ceux qui sont utilisés en cabinet dentaire, sont montrés, [Fig 13]. Ces deux types d'outils avec leurs systèmes intégrés de lubrification/aspersion et d'éclairage peuvent, l'un ou l'autre, bien évidemment être montés sur le dispositif robotisé de l'invention.

Toutes les articulations-rotoïdes des bras de robot sont d'une part motorisées au moyen d'un moteur électrique pas à pas ou, de préférence, à courant continu et d'autre part dotées d'un capteur proprioceptif de position pour indiquer la position angulaire exacte. L'information des capteurs envoyée au système pour que, tenant compte de la longueur précise des segments, la localisation des différents organes en bout, outil (OT), étrier (ET) et caméra 3D (CA), puissent être définies de façon très rigoureuse par rapport au système de référence.

Quatre positions du jeu de bras sont à considérer en fonction de la lo-

calisation de la dent à traiter du patient : position pour maxillaire inférieur et dent en partie gauche (MIG), représentée [Fig 14], position pour maxillaire supérieur et dent en partie droite (MSD), représentée [Fig 15], position pour maxillaire inférieur et dent en partie droite (MID) représentée [Fig 16] et position pour maxillaire supérieur et dent en partie gauche (MSG) représentée [Fig 17]. Il y a donc nécessité d'avoir deux configurations différentes pour le bloc-support (PO) de l'outil (OT) ainsi que pour le bloc-support (PS) des accessoires : une configuration qui couvre à la fois le cas du maxillaire inférieur avec dent en partie gauche (MIG) et le cas du maxillaire supérieur avec dent en partie droite (MSD) et l'autre configuration qui couvre à la fois le cas du maxillaire inférieur avec dent en partie droite (MID) et le cas du maxillaire supérieur avec dent en partie gauche (MSG). Ces deux configurations ne diffèrent que par le fait qu'il convient de faire pivoter de  $180^\circ$  : l'outil (OT) dans le bloc-support outil (PO) et l'étrier (ET) et la caméra 3D (CA) dans le bloc-support accessoires (PS), chacun par son articulation supérieure (ROA5, RSA5 et RSA7).

5. Tout le système informatique bureau-pupitre qui est placé à proximité du fauteuil et qui comprend l'ordinateur avec l'unité centrale intégrant tous les programmes informatiques de traitement des données, de pilotage et de contrôle de l'ensemble, les interfaces homme-machine (clavier, souris et autres) et les écrans permettant au praticien de suivre l'intervention et d'intervenir si et quand nécessaire. En complément, la partie relative au traitement des données dans le système informatique de l'invention est dotée d'une fonction particulière, détaillée par la suite, permettant en particulier la conversions de fichiers extérieurs transmis en fichiers directement utilisables par la partie robot. Afin d'éviter toute collision entre les éléments constituant le bras porte-outil (RO) et les éléments constituant le bras porte-accessoires (RS), un logiciel spécifique est incorporé au système pour effectuer le contrôle constant par imagerie 3D des positions respectives des différents éléments, ledit logiciel stoppant tout déplacement d'un élément d'un bras en mouvement pouvant entraîner, du fait de sa trajectoire imposée, une collision avec un élément de l'autre bras. Un troisième bouton d'arrêt d'urgence est situé au niveau du bureau-pupitre du praticien.

[0014] C'est donc la caméra 3D (CA) montée sur le bras porte-accessoires (RS) de la partie robot qui assure les prises de vue qui permettent d'une part de fournir les images 3D couleur servant de base pour le pilotage automatique et le contrôle des tâches ro-

botisées et d'autre part d'afficher ces images 3D sur écran pour que le praticien puisse suivre les opérations des bras de robot et intervenir si nécessaire.

[0015] Il convient aussi de souligner que la conception de la partie robot en double bras présente l'avantage de n'avoir que l'outil de taillage fixé en bout de bras porte-outil (RO). Ceci permet de limiter notablement le poids de ce sous-ensemble, bloc-support (PO) et outil (OT), et, ainsi, en limiter les efforts à supporter par chaque bras de robot, d'améliorer sensiblement la précision des mouvements.

[0016] Le poids des organes fixés en bout de bras porte-accessoires (RS), le bloc-support (PS), l'étrier (ET) avec son mini-bras articulé et la caméra 3D (CA), est moins problématique car

- d'abord une petite partie de ce poids est reprise au niveau de l'appui sur la dent elle-même,
- ensuite les organes constituant le bras peuvent être un peu plus surdimensionnés que ceux du bras porte-outil,
- enfin les mouvements pilotés de ce bras (RS) se limitent à la mise en place initiale de l'étrier (ET), une fois cette mise en place effectuée, contrairement au bras porte-outil (RO), il n'y a aucune nécessité de pilotage précis du porte-accessoires qui reste passif. Le système se content simplement d'enregistrer les déplacements de l'étrier (ET), suite aux mouvements du patient, pour que ceux-ci soient analysés et convertis en éventuelles modifications de trajectoires pour l'outil de taillage.

[0017] Les caractéristiques de l'invention ainsi que les détails techniques présentés précédemment confèrent à l'ensemble robotisé de l'invention un niveau de précision qui permet de réaliser, de façon entièrement automatique, un taillage de la dent ne présentant que des écarts minimes et acceptables par rapport à la définition théorique préétablie intégrée dans des fichiers spécifiques. La phase d'élaboration d'une empreinte optique à partir du taillage réel approximatif n'est plus nécessaire. La fabrication de la prothèse par une machine automatique peut alors être anticipée et ainsi être réalisée avant ou pendant le taillage de la dent par le dispositif robotisé de l'invention. La prothèse est ainsi disponible dès la fin de l'opération de taillage et peut être fixée aussitôt par le praticien dans la bouche du patient. Il s'en suit un gain de temps considérable dans le déroulement de l'ensemble de l'intervention.

[0018] Les caractéristiques et avantages de l'invention sont explicitées de façon encore plus précise dans la description détaillée des figures 4 à 17.

[0019] La [Fig.4] montre un exemple de vue générale de l'installation du dispositif robotisé avec la matérialisation du système informatique de pilotage et de contrôle (I) devant lequel le praticien peut s'installer et, sur la plateforme de base (B), l'ensemble robot (R) avec le fauteuil (F) sur lequel est installé le patient, la structure-support (S) et les

deux bras de la partie robotisée (RO) et (RS).

- [0020] La [Fig.5] montre la structure-support (S) placée à côté du fauteuil (F) sur lequel est installé le patient. On y voit la base du fauteuil (F1) qui est fixée à la plateforme de base (B) montré sur la [Fig.1], le dispositif de pivot et de levage (F2) qui permet une légère latitude dans l'orientation et dans l'altitude du fauteuil par rapport à la structure-support, la zone (F3) d'installation du patient, le repose-tête (F4) et le têtère (F5) qui permet une certaine immobilisation de la tête du patient.
- [0021] Sur la [Fig.6] on peut voir la plateforme de base (B) placée au sol et sur laquelle est fixé le fauteuil (non représenté) et la structure-support (S) avec la colonne principale (S0), l'articulation rotoïde à axe vertical (S01) reliant la colonne (S0) au premier segment horizontal (S1), l'articulation rotoïde à axe vertical (S12) reliant le premier segment horizontal (S1) au second (S2) et l'articulation rotoïde à axe horizontal (S23) reliant le second segment (S2) au manchon (S3) porte bras de robot.
- [0022] La [Fig.7] montre la configuration générale de la structure-support (S) fixée à la plateforme de base (B) placée au sol. On peut noter le manchon (S3) en bout du second segment (S2) de la structure-support (S), manchon sur lequel sont fixés les deux bras (RO et RS) juste figurés de la partie robot du dispositif. On peut noter l'articulation rotoïde à axe horizontal (SA23) qui fait partie de la structure-support tout comme le manchon (S3) lui-même. Les deux couples d'articulations rotoïdes constituant la base des bras de robot sont représentés : l'articulation à axe vertical (ROA1) et l'articulation à axe horizontal (ROA2), pour le bras porte-outil (RO) et l'articulations à axe vertical (RSA1) et l'articulation à axe horizontal (RSA2) pour le bras porte-accessoires (RS). Le système de coordonnées de référence dit "système de coordonnées robot" dont l'origine, le "zéro robot", est positionnée de façon très précise au milieu du manchon (Sd) est également tracé sur la figure. L'axe des Y correspond à l'orientation des segments du bras, l'axe des X, perpendiculaire à l'axe Y, est orienté vers l'intérieur de la bouche du patient et l'axe Z est vertical.
- [0023] La [Fig.8] montre le positionnement de l'étrier (ET) au niveau de la base de la dent concernée du patient ou d'une dent voisine. C'est au niveau du milieu de cet étrier qu'est situé le "zéro dent" du coordonnées "système de référence dent". Les orientations des axes X, Y et Z sont les mêmes que celles du "système de coordonnées robot".
- [0024] La [[Fig.9]] présente la configuration préférentielle des articulations rotoïdes de la structure-support qui permet d'augmenter sensiblement la rigidité de celle-ci et ainsi d'améliorer considérablement la précision de l'ensemble du dispositif robotisé. Ces articulations se présentent sous forme de deux roulements à une rangée de billes à contact oblique montés en "O" et préchargés. Ce montage permet avant tout d'annuler totalement le jeu de déversement (quelques fois aussi désigné par le terme

“basculement”). Ainsi au niveau des articulations elles-mêmes, toute application d’un couple de déversement n’entraînera que des déformations élastiques supplémentaires extrêmement réduites des éléments roulants déjà préchargés, en l’occurrence les billes et les pistes des bagues.

Ces déformations élastiques sont d’autant plus négligeables que la précharge est élevée.

De plus, compte tenu d’une part du fait que le problème de durée de vie du roulement, qui est d’une façon générale liée à la vitesse de rotation, ne se pose pas puisqu’il n’y a pas réellement de vitesse de rotation dans les mouvements de la structure-support et d’autre part que pour un palier à roulement le couple de rotation extrêmement réduit, il est possible d’appliquer au palier à roulement une précharge très élevée qui garantit une amplitude de déversement quasiment nulle.

Par ailleurs, on peut noter que l’utilisation de deux roulements à billes à contact oblique accolés et montés en “O” permet une réduction sensible de l’encombrement (b) tout assurant une distance beaucoup plus grande (a) entre points d’application des efforts radiaux  $F$  liés au couple  $C$  au niveau des roulements. Enfin, comme expliqué sur la [Fig.10] suivante, du fait de la précharge, seule une partie du couple extérieur s’applique aux éléments roulants et entraînent une déformation élastique complémentaire qui est, en l’occurrence, pratiquement négligeable.

[0025] Le diagramme de la [[Fig.10]] explicite la répartition interne des efforts engendrés par l’application d’un effort extérieur ( $F_{ext}$ ) sur un ensemble préchargé avec un effort ( $F_o$ ). Par cette précharge ( $F_o$ ) les pièces en compression de l’ensemble sont comprimées de  $\delta_{comp}$  et les pièces en traction ont une elongation de  $\delta_{tract}$ . La raideur en compression des pièces comprimées étant ( $F_o / \delta_{comp}$ ) et la raideur en traction des pièces en traction étant ( $F_o / \delta_{tract}$ ). On voit ainsi que l’effort extérieur ( $F_{ext}$ ) se répartit entre les deux éléments et seule la partie ( $F_{ae}$ ) de l’effort extérieur est appliquée aux pièces en traction. L’effort total devenant alors ( $F_o + F_{ae}$ ) et non ( $F_o + F_{ext}$ ) comme on pourrait le penser de prime abord.

Ce principe s’applique donc aussi au montage en “O” de roulements préchargés pour lequel tout couple de déversement n’a qu’un effet très partiel sur les déformations. Celles-ci étant déjà assez faibles avec une précharge voisine de zéro, elles deviennent pratiquement négligeables pour une précharge importante comme celle qu’il est possible d’appliquer pour les articulations rotoïdes de la structure-support.

[0026] Les figures 11 à 17 présentent en image les différentes configurations des deux bras de robot : le bras porte-accessoires (RS) et le bras porte-outil (RO).

[0027] La [[Fig.1]1] montre la configuration générale du bras porte-accessoires (RS), le bras porte-outil ayant été retiré pour faciliter la présentation. On peut y voir l’extrémité de la structure-support (S) avec le manchon (S3) auquel le bras (RS) est attaché par les ar-

ticulations rotoïdes (RSA1) et (RSA2) déjà décrites, les deux segments (RSS1) et (RSS2) avec l'articulation rotoïde (RSA3) et l'articulation en croisillon (RSA4). Au niveau du bloc-support (PS) des accessoires, les articulations (RSA5) à axe vertical et (RSA6) à axe horizontal pour la caméra 3D (CA) et (RSA7) à axe vertical et (RSA8) à axe horizontal pour l'étrier (ET), doté lui-même de trois articulations (RSA9, RSA10 et RSA11), permettent le positionnement précis de chaque élément concerné.

On peut noter que la motorisation des articulations dans l'axe des segments n'est pas visible parce qu'elle est montée à l'intérieur du segment lui-même alors que les motorisations des articulations perpendiculaires sont en général visibles.

- [0028] La [Fig.12] montre la configuration générale du bras porte-outil (RO), le bras porte-accessoires ayant été retiré pour faciliter la présentation, on peut y voir l'extrémité de la structure-support (S) avec le manchon (S3) auquel le bras (RO) est attaché par les articulations rotoïdes (ROA1) et (ROA2) déjà décrites, les deux segments (ROS1) et (ROS2) avec d'abord l'articulation rotoïde à axe horizontal (ROA3) et l'articulation en croisillon (ROA4) et, au niveau du bloc-support (PO), les articulations (ROA5) à axe vertical et (ROA6) à axe horizontal, cette dernière partie comprenant la fixation de l'outil de taillage (OT) avec ses systèmes intégrés de lubrification/aspersion et d'éclairage.
- [0029] La [Fig.13] montre deux exemples d'outils de taillage, une turbine à corps horizontal (A) et une turbine à corps vertical (B), parmi tous les outils qui peuvent équiper le dispositif de l'invention. Quel que soit l'outil choisi par le praticien, le mécanisme de fixation au porte-outil (PO) est conçu et adapté de façon telle que la fraise ou l'organe de coupe (F) se situe toujours au même niveau.
- [0030] La [Fig.14] représente la position des deux bras de robot dans le cas d'une intervention sur une dent en partie gauche du maxillaire inférieur du patient "MIG".
- [0031] La [Fig.15] représente la position des deux bras de robot dans le cas d'une intervention sur une dent en partie droite du maxillaire supérieur du patient "MSD".
- [0032] Pour ces deux configurations le bloc-support de l'outil (PO) et le bloc support des accessoires (PS) ont la même orientation.
- [0033] La [Fig.16] représente la position des deux bras de robot dans le cas d'une intervention sur une dent en partie droite du maxillaire inférieur du patient "MID".
- [0034] La [Fig.17] représente la position des deux bras de robot dans le cas d'une intervention sur une dent en partie gauche du maxillaire supérieur du patient "MSG".
- [0035] Pour ces deux configurations le bloc-support de l'outil (PO) et le bloc support des accessoires (PS) ont la même orientation.
- [0036] Les [Fig.18A], 18B, 18C et 18D illustrent au moyen d'organigrammes la simplification qu'entraîne l'utilisation du dispositif robotisé de l'invention pour une intervention sur un patient pour la pose d'un élément prothétique partiel ou total.

[0037] La [Fig.18A] précise les actions préalables à l'intervention du dispositif robotisé de l'invention.

[0038] La [Fig.18B] indique les réglages nécessaires.

[0039] La [Fig.18C] détaille comment s'insère l'intervention du dispositif robotisé de l'invention dans l'ensemble du processus de traitement concerné et montre l'avantage décisif du dispositif robotisé de l'invention qui permet la fabrication de la prothèse en temps masqué (soit avant ou pendant l'intervention du dispositif robotisé).

[0040] La [Fig.18D] liste les actions complémentaires qui sont réalisées en fin d'intervention.

[0041] En complément des indications précédentes il convient de rappeler que, lors de l'intervention, les articulations de la structure support (S) ont été bloquées au préalable dans les configurations voulues par les dispositifs électromécaniques actionnés par le praticien.

Ensuite, au niveau de la partie robot, certaines articulations sont aussi bloquées par le système de commande. C'est le cas des articulations RSA1 à RSA8 du bras porte-accessoires (RS) dès que l'étrier (ET) a été mis en place. Seules les articulations du mini-bras de l'étrier (ET) lui-même (RSA9, RSA10 et RSA11) ne sont pas bloquées. Chacune de ces dernières articulations du mini-bras de l'étrier est pourvue d'un capteur de position angulaire très précis afin d'enregistrer tous les déplacements de l'étrier (ET) provoqués par d'éventuels mouvements du patient. Ce sont les indications fournies par ces capteurs qui permettent d'enregistrer les déplacements du "système de référence dent" avec le "zéro dent" (notion explicitée précédemment) et de procéder aux corrections de trajectoires d'outil lors du taillage automatique de la dent. L'analyse, par le système, des dérivées des fonctions déplacement en fonction du temps découlant des indications de ces capteurs permet de déterminer la brutalité des mouvements.

Au niveau du porte-outil (PO), toutes les articulations restent commandées pendant l'intervention. Les articulations ROA1 et ROA2 sont plus particulièrement actionnées pour des déplacements longitudinaux de plus de 20 mm ou des mouvements angulaires de plus de 10°. Les articulations ROA3 et ROA4 sont plus particulièrement actionnées pour des déplacements longitudinaux de plus de 5 mm ou des mouvements angulaires de plus de 5° et les articulation ROA5 et ROA6 sont plus particulièrement actionnées pour des déplacements longitudinaux de moins de 5 mm et des mouvements angulaires de moins de 5°.

Un petit ressort de rappel de torsion est fixé au niveau de l'articulation ROA6 du bloc-support de l'outil (PO), ressort qui, en l'absence d'alimentation en courant du moteur de l'articulation, assure un très léger dégagement vertical de l'outil, entre 2 et 5 mm, de la dent du patient. Cette disposition de sécurité permet d'éviter toute in-

terférence avec la dent du patient en cas de mouvement brusque de ce dernier au moment d'un arrêt d'urgence.

[0042] Dans une configuration préférentielle de l'invention, au niveau de l'ensemble porte-accessoires (PS), le mini-bras de l'étrier (ET) est doté d'un dispositif électromécanique s'apparentant à un dispositif haptique permettant une forme de compliance dont le but est d'améliorer le confort du patient en limitant les risques d'à-coups au niveau de l'outil de taillage sans créer de situation de gêne excessive dans le fonctionnement sans à-coups.

En effet, comme il a déjà été précisé, les déplacements de l'outil de taillage sont modifiés en fonction des mouvements de l'étrier (ET), ce dernier suivant les mouvements des maxillaires du patient, en particulier au niveau de la dent à traiter.

Il s'agit donc à la fois de ralentir et de limiter l'amplitude des éventuels mouvements des maxillaires du patient et d'atténuer fortement tout éventuel mouvement brutal, comme mentionné ci-dessus. Pour ce faire, le moteur miniature à courant continu associé à chacune des trois articulations (RSA9, RSA10 et RSA11) du mini-bras de l'étrier (ET) est doté d'un branchement électrique interne en rhéostat (fonctionnement en dynamo). Ainsi, une fois l'étrier mis en place et les motorisations des articulations principales du bras porte-accessoires (RS) bloquées, le fonctionnement en rhéostat des moteurs à courant continu des trois articulations (RSA9, RSA10 et RSA11) du mini-bras est actionné.

Cette disposition préférentielle crée donc une légère contrainte qui freine et ralentit les mouvements du maxillaire concerné du patient et en limite l'amplitude. Ceci permet au système informatique de pilotage et de contrôle de disposer de plus de temps pour ajuster les trajectoires de l'outil et donc d'éliminer les à-coups. Il s'en suit une amélioration très significative de la précision du taillage.

[0043] Dans une autre configuration préférentielle de l'invention, la séquence de taillage définie par le système consiste d'abord à élaborer des étapes pour le taillage successif de chacune des cinq faces de la dent - face occlusale, face vestibulaire, face linguale, face mésiale et face distale -, avec prise en compte d'un rebord prédéfini de 0,14 à 0,22 mm et ensuite à procéder au taillage effectif de chacune des faces selon le protocole suivant :

- taillage de la face jusqu'à un pourcentage de 50% à 66% du taillage complet,
- interruption du taillage (arrêt de la rotation de l'outil, arrêt de l'arrosage, dégagement de l'outil par déplacement vertical sur quelques millimètres),
- comparaison des images 3D du taillage réel au stade de l'arrêt avec les images théoriques au même stade,
- définition des corrections éventuelles de trajectoire d'outil,
- reprise du taillage jusqu'à 100% avec prise en compte de éventuelles cor-

rections.

- [0044] L'ensemble des caractéristiques de base détaillées précédemment permettent au dispositif robotisé de l'invention d'effectuer, de façon totalement automatique et dans de bonnes conditions, des opérations délicates telles que le taillage de dents directement dans la bouche du patient.
- [0045] Les deux configurations préférentielles explicitées apportent encore des améliorations sensibles qui confèrent à l'ensemble une sûreté de fonctionnement déterminante.
- [0046] Après les descriptions précédentes détaillant les caractéristiques techniques de l'invention et les avantages qui en découlent, la chronologie des actions relatives à une intervention sur un patient au moyen du dispositif robotisé peut être précisée.
- [0047] Tout d'abord il convient de rappeler que, bien évidemment, le dispositif robotisé de l'invention ne peut être mis en fonction qu'après la réalisation d'un certain nombre d'actions préliminaires, actions effectuées directement par le praticien, avec éventuellement le concours du prothésiste ou avec l'aide d'un système informatique plus ou moins avancé conçu à cet effet, ces actions sont les suivantes :
1. Examen du patient.
  2. Prise d'images 3D de l'état initial de la zone concernée dans la bouche du patient avec une caméra 3D éventuellement différente de celle qui équipe le dispositif robotisé.
  3. Définition du traitement adéquat.
  4. Conception de la prothèse nécessaire et élaboration des fichiers correspondants d'images 3D.
  5. Définition du taillage nécessaire de la dent et élaboration des fichiers correspondants d'images 3D, avec élaboration des étapes de taillage pour chacune des cinq faces à tailler correspondant chacune à l'orientation du plan de coupe : face occlusale, face vestibulaire, face linguale, face mésiale et face distale et avec, pour enfin prise en compte du rebord prédéfini de 0,14 à 0,22 mm. La définition est réalisée sous forme de fichiers informatiques d'images 3D permettant le contrôle pendant l'opération.
  6. Introduction du jeu de fichiers informatiques élaborés dans les actions précédentes dans le système de pilotage et de contrôle du dispositif robotisé objet de l'invention.
- [0048] A la fin de ces premières étapes, ou même pendant leur réalisation, le praticien procède à l'installation du patient sur le fauteuil et au positionnement de la structure-support.
- Ensuite, une fois la position requise atteinte, le blocage des trois articulations de la structure-support se fait par un système électro-mécanique commandé de façon cen-

tralisée par le praticien, ce système actionne, pour chacune des articulations de la structure-support, un pion d'indexage qui s'ajuste dans un alésage précis.

L'indexage de la structure-support permet ainsi de placer le manchon (S3) de référence porte robot dans quatre positions précises prédéterminées :

- Position "MIG" pour traiter une dent du maxillaire inférieur du patient côté gauche : le manchon porte bras de robot de la structure-support est placé à gauche de la tête du patient et son orientation verticale est telle que le bras porte-outil est en position basse et le bras porte-accessoires en position haute.
- Position "MSD" pour traiter une dent du maxillaire supérieur du patient côté droit : le manchon porte bras de robot de la structure-support est placé à droite de la tête du patient et son orientation verticale est telle que le bras porte-outil est en position haute et le bras porte-accessoires en position basse.
- Position "MID" pour traiter une dent du maxillaire inférieur du patient côté droit : le manchon porte bras de robot de la structure-support est placé à droite de la tête du patient et son orientation verticale est telle que le bras porte-outil est en position basse et le bras porte-accessoires en position haute.
- Position "MSG" pour traiter une dent du maxillaire supérieur du patient côté gauche : le manchon porte bras de robot de la structure-support est placé à gauche de la tête du patient et son orientation verticale est telle que le bras porte-outil est en position haute et bras porte-accessoires en position basse.

[0049] Le praticien place ensuite, au moyen du bras porte-accessoires de la partie robot, l'étrier (ET) sur la dent de son choix du patient et procède aux premières prises de vues de la bouche du patient par la caméra 3D (CA) du dispositif robotisé.

Ces images concernent donc la même zone que celle qui a fait l'objet des premiers examens opérés par le praticien, mais elles sont différentes puisque prises par une caméra différente dans une position différente.

Il s'agit donc maintenant d'établir une corrélation entre les premières images 3D prises lors de l'examen initial et ces nouvelles images 3D qui vont servir de base pour toute l'intervention du dispositif robotisé.

C'est la raison pour laquelle, comme indiqué précédemment, la partie relative au traitement des données dans le système informatique de l'invention est dotée d'une fonction particulière permettant la conversion de fichiers pour que ceux-ci soient directement utilisables par le système de pilotage et de contrôle de la partie robot.

Ainsi, avant le début de l'opération de taillage, les opérations suivantes sont réalisées automatiquement par le système de la partie robot après introduction, au point 6 précédent, des fichiers du point 5 :

1. Analyse des fichiers d'images 3D prises antérieurement (point 2 précédent) de l'état initial de la zone concernée de la bouche du patient.

2. Analyse des fichiers d'images 3D prises dans l'immédiat par la caméra du dispositif robotisé de la même zone concernée de la bouche du patient. Il est à noter que ces images de la même zone sont toutefois différentes des précédentes (point 2 précédent) puisque la caméra est différente et que son positionnement est également différent.
3. Elaboration de lois de corrélation permettant de relier les points significatifs des deux jeux d'images 3D : images du point 2 précédent et images du point 8.
4. Analyse des fichiers d'images 3D préétablis (point 4 précédent) de définition du taillage de la dent, images qui ont été établies précédemment à partir du premier fichier (point 2 précédent) de l'état initial de la bouche du patient.
5. Application des lois de corrélation élaborées précédemment (point 9) pour créer un nouveau fichier de définition de taillage de la dent correspondant au nouveau fichier d'images 3D (point 8) de l'état initial de la bouche du patient prises par la caméra 3D du dispositif robotisé.

[0050] Enfin, les fichiers d'images 3D de taillage ayant été spécifiquement élaborés (point 11 précédent) pour le système informatique du dispositif robotisé et étant bien en correspondance avec le fichier initial d'images 3D (point 5 précédent) de définition initiale du taillage, les opérations sur le patient peuvent être réalisées.

Le système informatique du dispositif réalise alors les opérations suivantes à partir de ce fichier ainsi élaboré (point 11) :

1. Détermination des étapes de l'opération de taillage avec, pour chaque étape, définition des trajectoires, des vitesses de rotation, de couple et des efforts à appliquer à l'outil ainsi que des débits de lubrification/aspersion.
2. Application de ces paramètres pour le taillage effectif de la dent face par face.
3. Surveillance du taillage de chaque face de la dent en temps réel au moyen de la caméra 3D avec comparaison à chaque étape des images réelles et des images théoriques élaborées précédemment correspondant à l'étape considérée. A chaque étape cette comparaison nécessite au préalable l'interruption du taillage et de la lubrification/aspersion.
4. En cas d'écart supérieur à l'écart maximum prédéfini : arrêt du taillage et correction de trajectoire, de vitesse de rotation, de couple et d'efforts à appliquer à l'outil.
5. Reprise du taillage de la face concernée avec lubrification/aspersion.
6. En fin de taillage de l'ensemble des faces, arrêt du taillage et de la lubrification/aspersion, retrait de l'outil de taillage, prise des images 3D du taillage dans sa configuration finale.
7. Retrait de l'étrier et de la caméra 3D.

8. Replis des deux bras de robot dans leur configuration de stockage.

[0051] Enfin, une fois l'intervention terminée, les différentes bases de données peuvent être mises à jour par le praticien en utilisant les moyens plus ou moins automatisés disponibles dans le cabinet.

## Revendications

[Revendication 1]

Dispositif robotisé permettant de réaliser, dans la bouche du patient et de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d'éléments prothétiques partiels ou totaux **caractérisé par le fait qu'**il est constitué de l'ensemble des éléments listés ci-après :

1. une plateforme de base (S ) posée au sol sur laquelle sont fixés le fauteuil du patient et la structure-support de l'ensemble robotisé,
2. un fauteuil pivotant (F) sur lequel le patient prend place en position semi-allongée, ledit fauteuil étant équipé : d'un repose tête (F4) avec un rabat (F5) au niveau du front pour le maintien de la tête du patient,
3. une **structure-support** (S) comprenant une partie verticale (SO), deux segments horizontaux (S1 et S2) reliés entre eux par deux articulations rotoïdes à axe vertical (SA01 et SA12) sans jeu de déversement pourvue chacune d'un dispositif de blocage interne actionné directement par le praticien, et au bout de laquelle est monté un court manchon vertical (S3) fixé en bout du second segment de ladite structure-support par une articulation rotoïde à axe horizontal (SA23) et qui peut pivoter d'une position verticale à une autre à 180° selon que l'opération sur le patient concerne une dent du maxillaire supérieur ou du maxillaire inférieur (la mandibule), ladite **structure-support** (S) avec son court manchon vertical pivotant (S3) constituant la base extrêmement rigide, précise et stable servant de support matériel au système orthonormé de référence à trois axes de coordonnées (x, y ,z), dit "système de coordonnées machine", pour le contrôle rigoureux des trajectoires de déplacements, des positions, des orientations, des vitesses et des efforts de tous les éléments de la partie robotisée du dispositif, l'origine 0, dit "zéro machine", de ce système général orthonormé étant matérialisée par le point milieu (Orobot) du court manchon vertical (S3) en bout de structure-support (S),
4. une partie dite robotisée constituée de deux bras de robot (RO et RS), chacun fixé à une extrémité du court manchon vertical

(S3) de la structure-support (S) par une articulation rotoïde à axe vertical (RSA1 et ROA1) et comprenant deux segments, le premier segment de chaque bras (RSS1 et ROS1) étant relié à l'articulation précédente par une articulation rotoïde à axe horizontal (RSS1 et ROS1) et le second segment de chaque bras (RSS2 et ROS2) étant relié au premier également par une articulation rotoïde à axe horizontal (RSA3 et ROA3), le bloc-support (PS et PO) du ou des organes fonctionnels étant relié au second segment par une articulation type croisillon (RSA4 et ROA4), un des deux bras de robot constituant le manipulateur de l'outil de taillage de la dent avec ses systèmes de lubrification/aspersion et d'éclairage et l'autre bras de robot étant le manipulateur des accessoires que sont la caméra 3D et l'étrier qui est positionné sur la dent concernée patient ou une dent voisine, le point central de cet étrier constituant le support matériel de l'origine dite "zéro pièce" du second système de coordonnées à trois axes dit "système de coordonnées pièce" dont les déplacements enregistrés correspondant aux mouvements du patient permettent au système de pilotage et de contrôle de modifier les trajectoires de l'outil de taillage en fonction de ces mouvements,

5. le système informatique général pour pilotage et contrôle de la partie robotisée sous forme d'un bureau-pupitre placé à côté de l'ensemble constitué de la plateforme, du fauteuil du patient et de la structure-support avec la partie robotisée et comprenant l'ordinateur intégrant les différents programmes informatiques qui contiennent
  - les informations nécessaires telles que les images 3D de l'état initial de la dent, les images 3D de la dent dans les différents stades de taillage,
  - les instructions de pilotage et de contrôle pour les trajectoires de l'outil de taillage (OT) en bout du bras porte-outil (RO) à partir de la position de l'étrier (ET), placé au préalable sur la dent du patient par le praticien par pilotage du bras porte-accessoires (RS),

ledit système informatique comprenant également les interfaces (clavier, souris et autres) et les écrans permettant l’affichage des images 3D et informations nécessaires pour permettre au praticien d’intervenir et de suivre l’intervention et enfin incluant l’ensemble des liaisons électriques, électroniques et informatiques nécessaires.

[Revendication 2]

Dispositif robotisé permettant de réaliser, dans la bouche du patient et de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d’éléments prothétiques partiels ou totaux selon la revendication 1 **caractérisé par le fait que**, afin d’éviter toute collision entre les éléments constituant le bras porte-outil (RO) et les éléments constituant le bras porte-accessoires (RS), un logiciel spécifique est incorporé au système pour effectuer le contrôle constant par imagerie 3D des positions respectives des différents éléments de chacun des deux bras, ledit logiciel stoppant tout déplacement d’un élément d’un bras en mouvement pouvant entraîner, du fait de sa trajectoire imposée, une collision avec un élément de l’autre bras.

[Revendication 3]

Dispositif robotisé permettant de réaliser, dans la bouche du patient et de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d’éléments prothétiques partiels ou totaux selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé par le fait que** la partie robotisée constituée du bras porte-accessoire (RS) et du bras porte-outil (RO) peut être placée selon quatre configurations différentes en fonction de la localisation de la dent du patient à traiter :

- configuration pour une intervention sur une dent en partie gauche du maxillaire inférieur du patient (configuration dite “MIG”),
- configuration pour une intervention sur une dent en partie droite du maxillaire supérieur du patient (configuration dite “MSD”),
- configuration pour une intervention sur une dent en partie droite du maxillaire inférieur du patient (configuration dite “MID”),
- configuration pour une intervention sur une dent en partie gauche du maxillaire supérieur du patient (configuration dite “MSG”).

[Revendication 4]

Dispositif robotisé permettant de réaliser, dans la bouche du patient et

de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d'éléments prothétiques partiels ou totaux selon l'une quelconque des revendications précédentes **caractérisé par le fait que** la partie relative au traitement des données dans le système informatique de l'invention est dotée d'une fonction particulière permettant la conversions de fichiers pour que ceux-ci soient directement utilisables par le système de pilotage et de contrôle de la partie robot, ladite fonction consistant à :

- analyser les fichiers d'images 3D de l'état initial de la zone concernée de la bouche du patient, images ayant été prises par une caméra différente de celle du dispositif robotisé de l'invention,
- analyser les fichiers d'images 3D de la même zone de la bouche du patient prises dans l'immédiat par la caméra du dispositif robotisé de l'invention, images 3D toutefois différentes des précédentes puisque prises par deux caméras différentes,
- élaborer les lois de corrélation permettant de relier les points significatifs des deux jeux précédents d'images 3D de la zone concernée de la bouche du patient,
- analyser les fichiers d'images 3D préétablis de définition du taillage de la dent, images qui ont été établies précédemment à partir du premier fichier de l'état initial de la bouche du patient,
- appliquer les lois de corrélation élaborées précédemment pour créer un nouveau fichier de définition de taillage de la dent correspondant au nouveau fichier d'images 3D de l'état initial de la bouche du patient prises par la caméra 3D du dispositif robotisé de l'invention.

[Revendication 5]

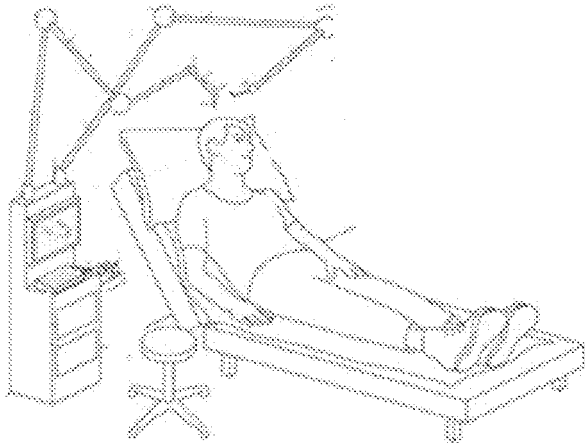
Dispositif robotisé permettant de réaliser, dans la bouche du patient et de manière entièrement automatisée, les opérations de taillage de dents nécessaires à la pose d'éléments prothétiques partiels ou totaux selon l'une quelconque des revendications précédentes **caractérisé par le fait que** le mini-bras à trois articulations rotoïdes (RSA9, 10, 11) au bout duquel est fixé l'étrier(ET), placé sur la dent concernée du patient ou sur une dent voisine, est doté d'un dispositif destiné à ralentir et limiter

l'amplitude des éventuels mouvements des maxillaires du patient et aussi à atténuer fortement les à-coups ou mouvements brutaux, dispositif qui consiste à doter le moteur miniature à courant continu associé à chacune de ces trois articulations d'un branchement électrique interne en rhéostat (fonctionnement en dynamo), ledit branchement en rhéostat étant actionné dès le début du taillage afin de créer une légère contrainte dans les mouvements de l'étrier, contrainte qui freine et ralentit les mouvements du maxillaire concerné du patient et en limite l'amplitude.

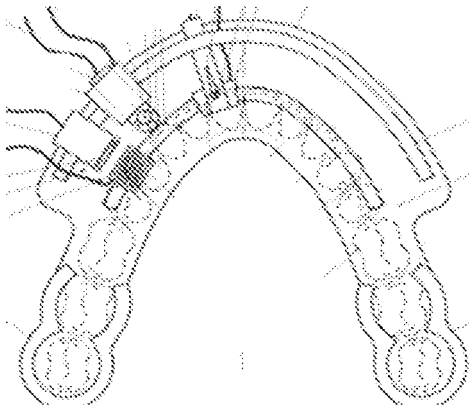
[Revendication 6]

Dispositif robotisé destiné aux interventions sur des dents de patient en vue de réaliser des implants dentaires selon l'une quelconque des revendications précédentes **caractérisé par le fait que** l'interruption volontaire de l'intervention par le praticien ou une coupure de l'alimentation électrique du système, en particulier par l'un des trois boutons d'arrêt d'urgence -un de part et d'autre du fauteuil du patient et un au niveau du bureau-pupitre du praticien- entraîne la détente d'un petit ressort de rappel de torsion fixé au niveau de l'articulation du porte-outil qui permet d'assurer, par sécurité, un très léger dégagement vertical de l'outil, entre 2 et 5 mm, de la dent du patient.

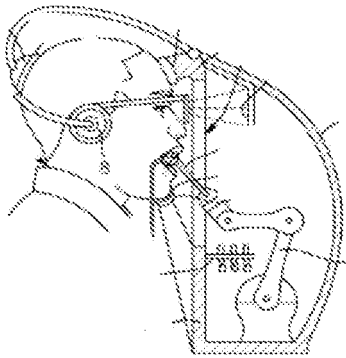
[Fig. 1]



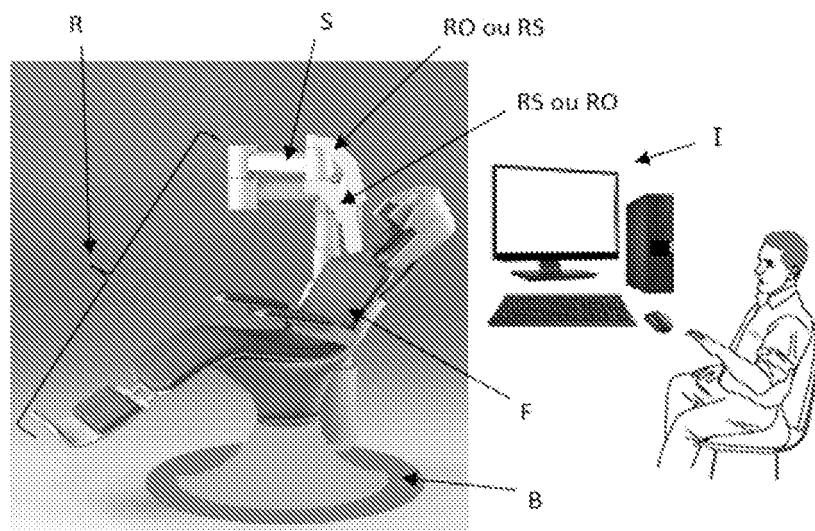
[Fig. 2]



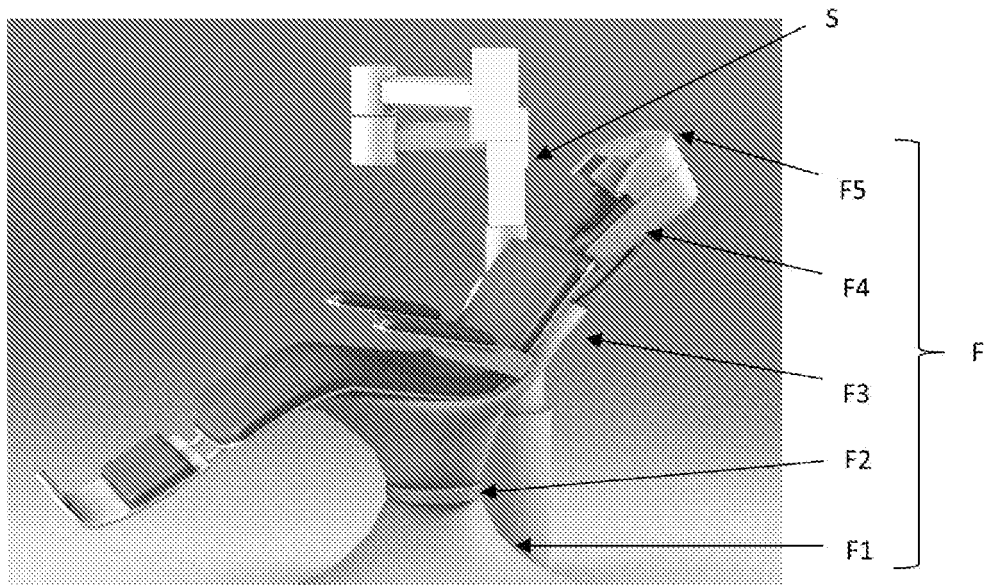
[Fig. 3]



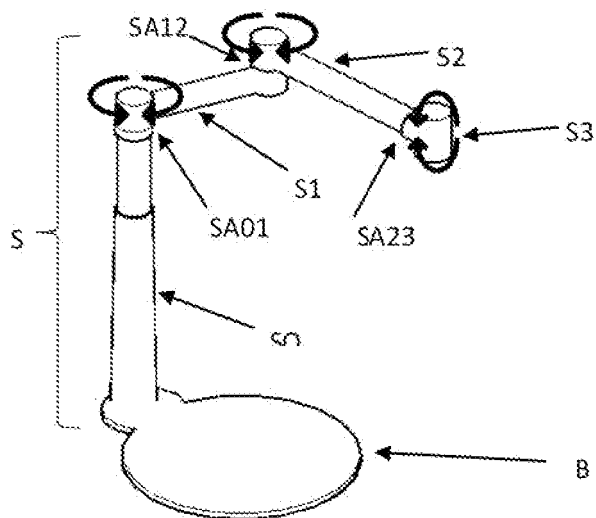
[Fig. 4]



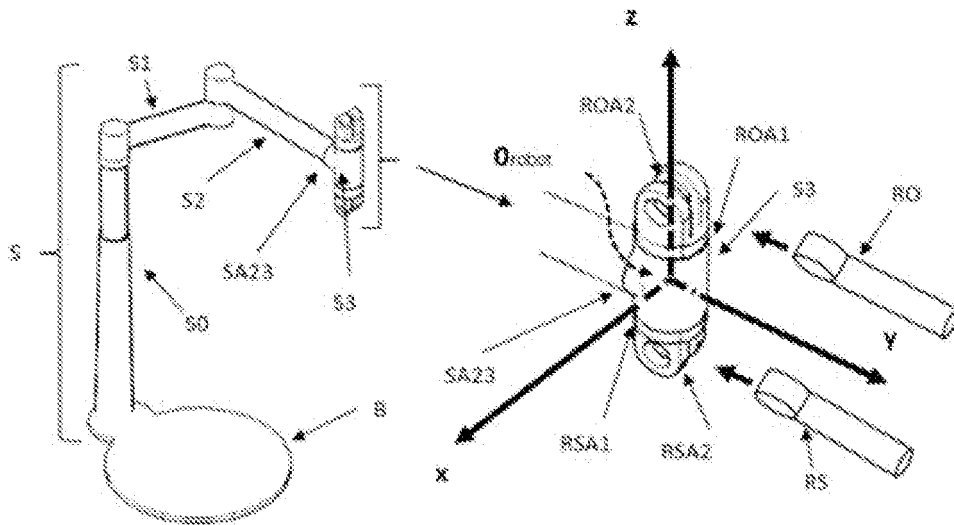
[Fig. 5]



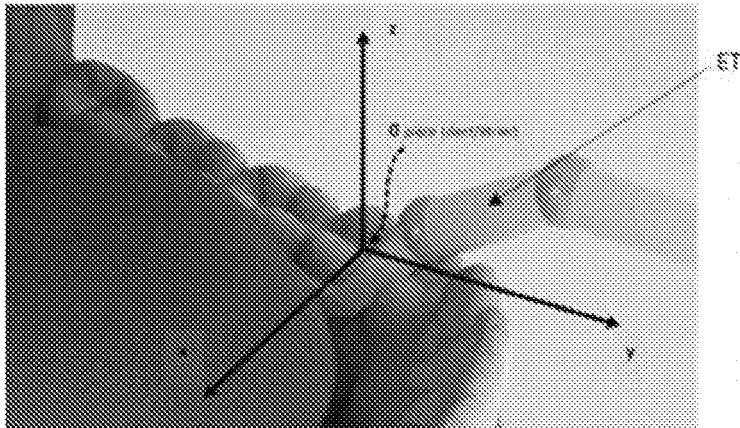
[Fig. 6]



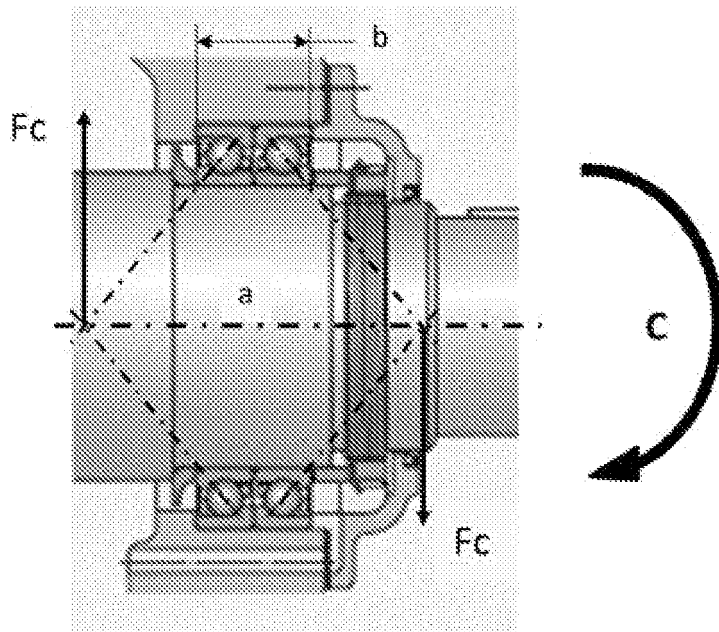
[Fig. 7]



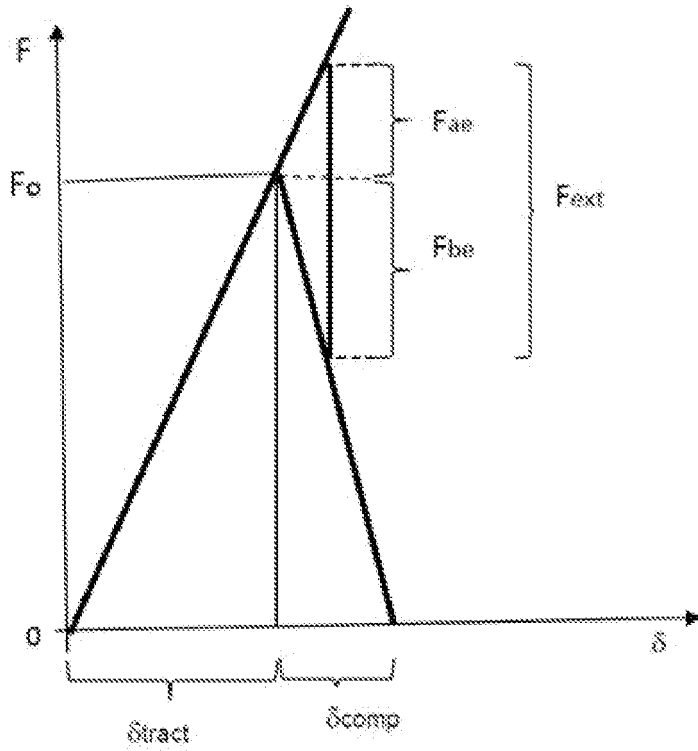
[Fig. 8]



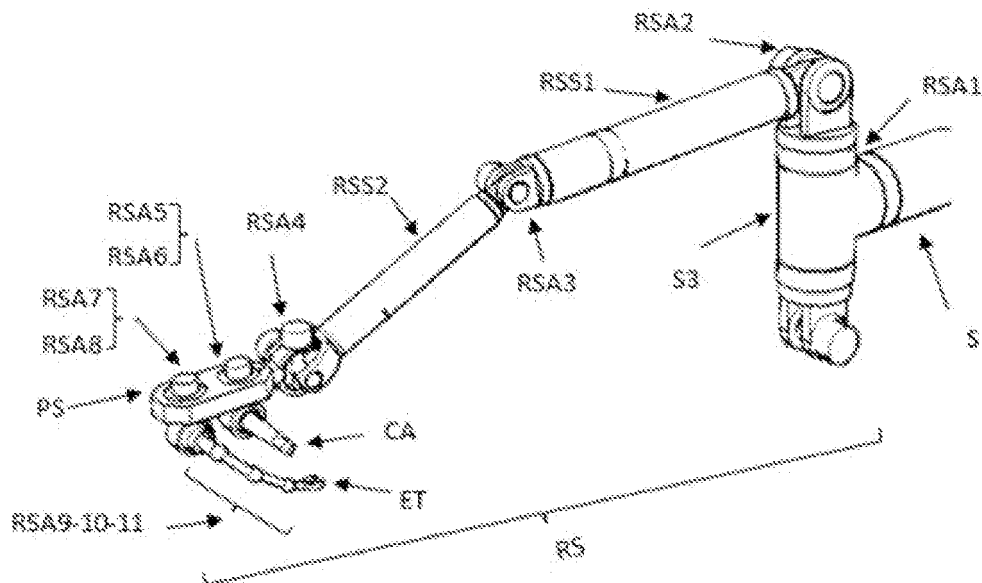
[Fig. 9]



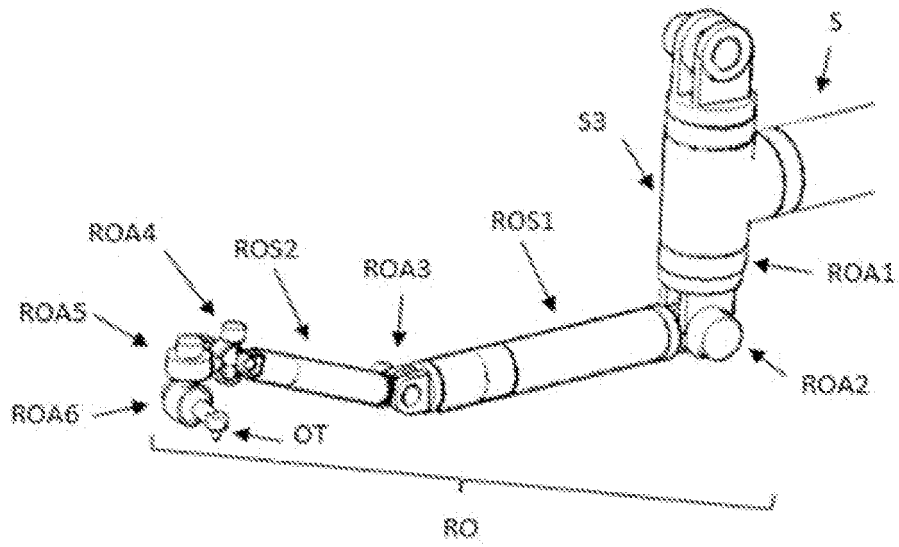
[Fig. 10]



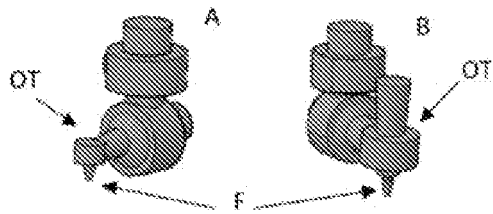
[Fig. 11]



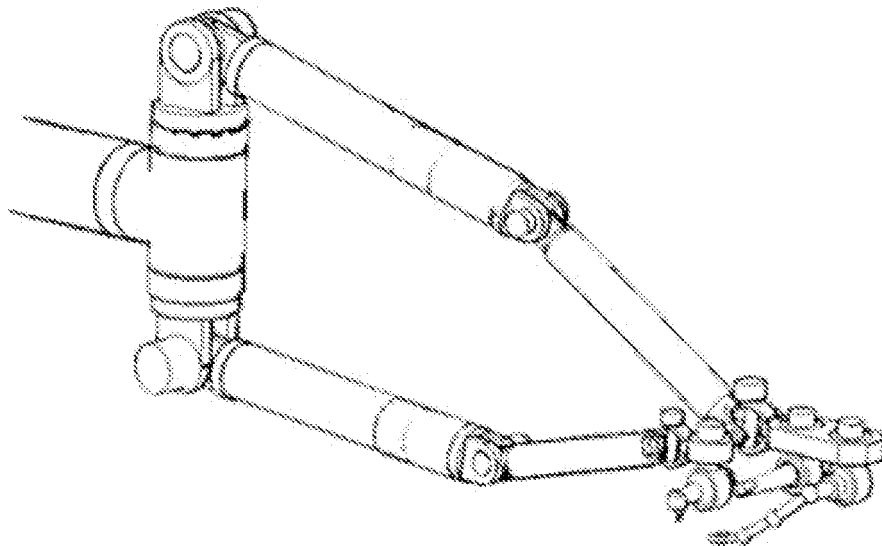
[Fig. 12]



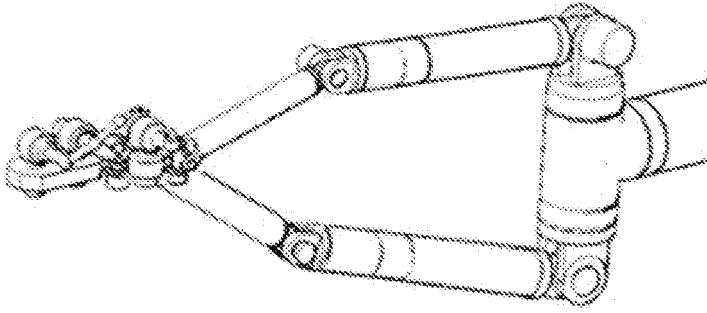
[Fig. 13]



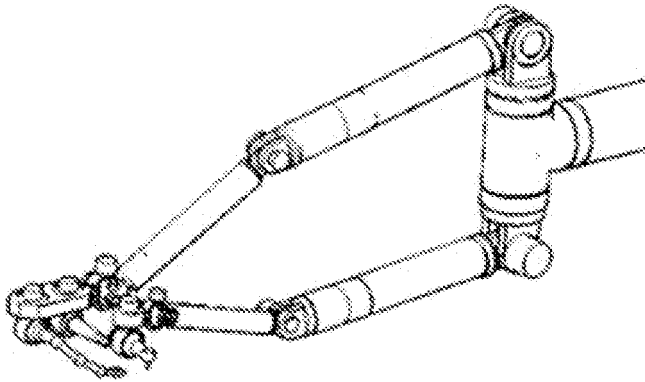
[Fig. 14]



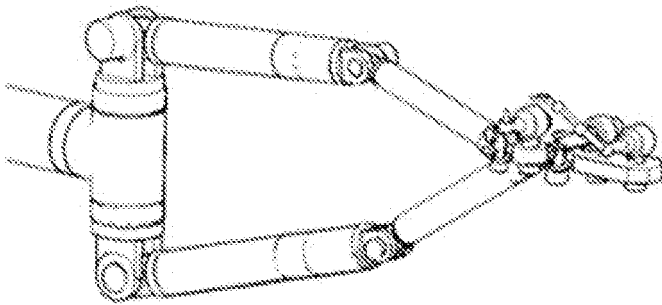
[Fig. 15]



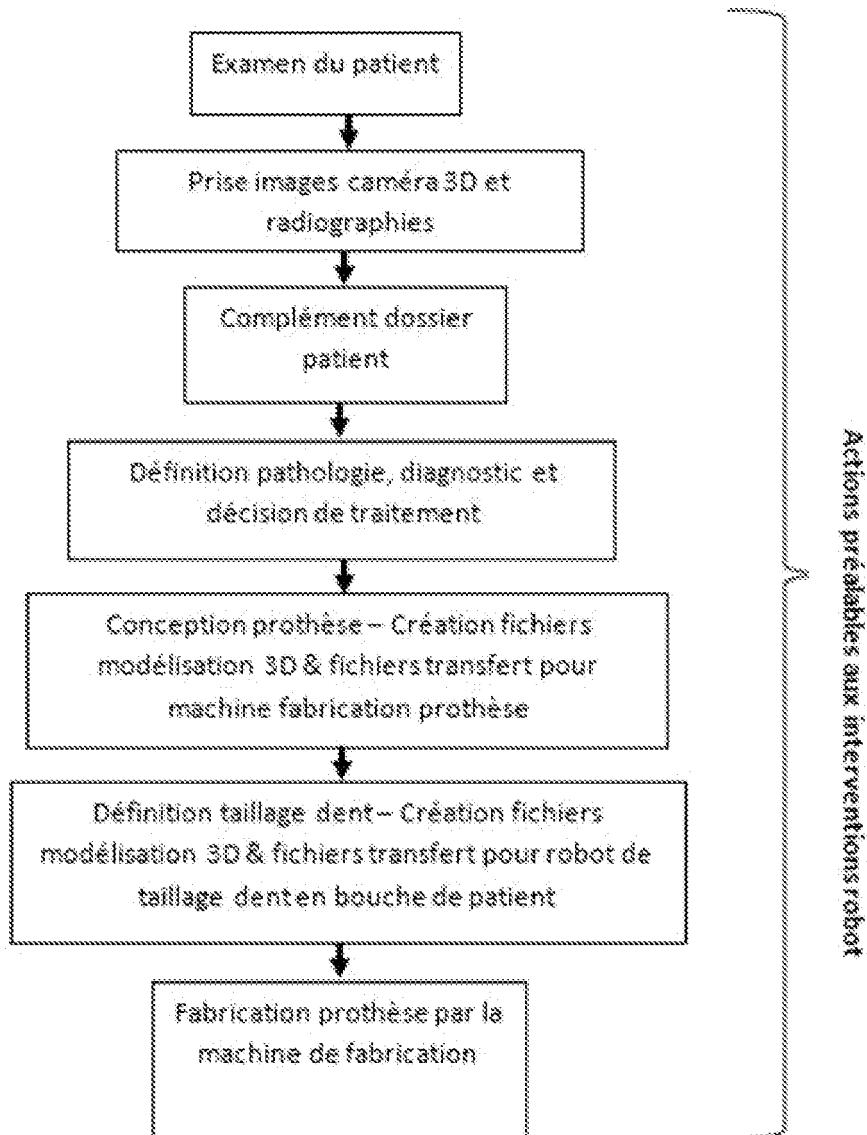
[Fig. 16]



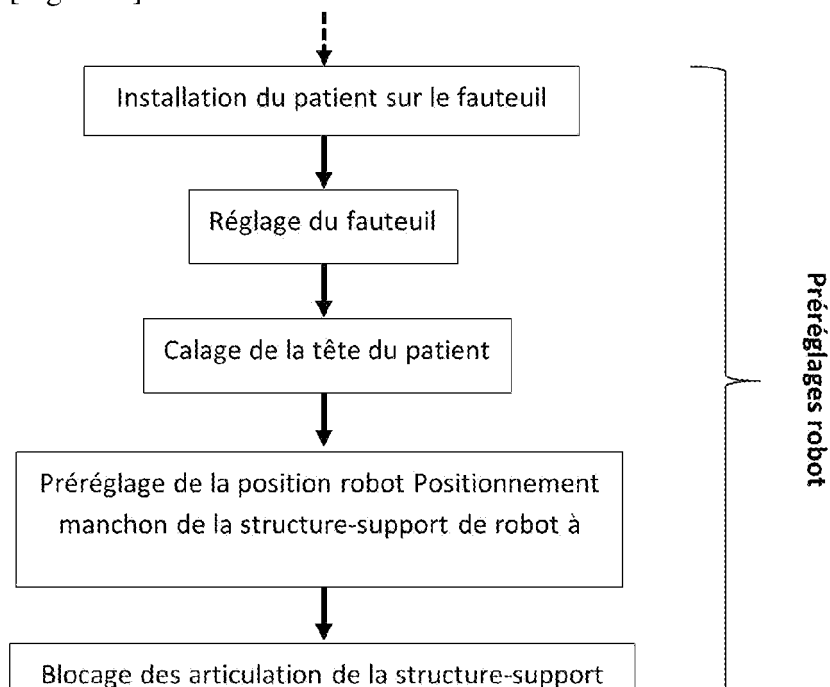
[Fig. 17]



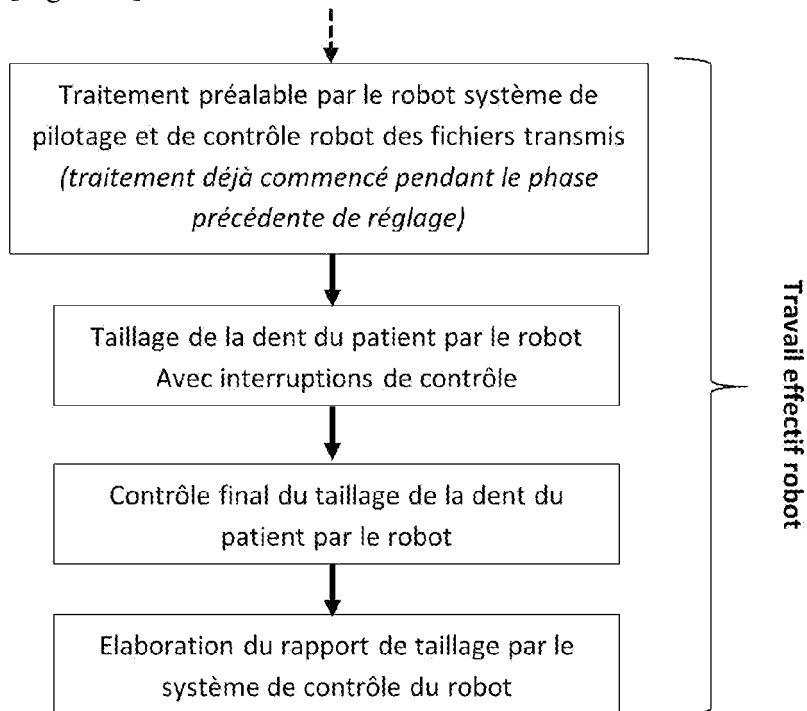
[Fig. 18A]



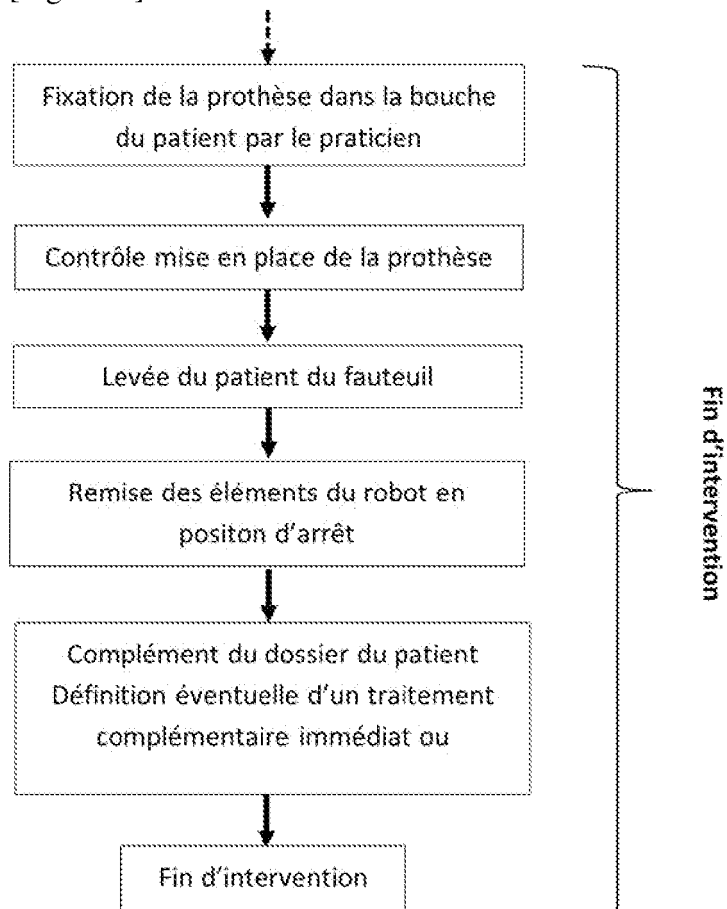
[Fig. 18B]



[Fig. 18C]



[Fig. 18D]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 921698**  
**FR 2305997**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2018/008355 A1 (MOZES ALON [US] ET AL) 11 janvier 2018 (2018-01-11)	1, 3, 4, 6	A61C 13/38
Y	* alinéas [0002], [0064], [0067] - [0070] * * figure 4 *	2, 5	
Y	WO 2015/026546 A2 (BRACHIUM INC [US]) 26 février 2015 (2015-02-26) * alinéa [0045] *	2	
Y	WO 2021/161162 A1 (MEDICAL MICROINSTRUMENTS SPA [IT]) 19 août 2021 (2021-08-19) * alinéa [0116] *	5	
A	US 2022/142736 A1 (KIM HYUNG JOO [KR]) 12 mai 2022 (2022-05-12) * figure 3 *	1-6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			A61B A61C A61G
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 janvier 2024		Milles, Julien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		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.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2305997 FA 921698**

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 **16-01-2024**  
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
<b>US 2018008355 A1</b>	<b>11-01-2018</b>	<b>CN 107613896 A</b>	<b>19-01-2018</b>
		<b>EP 3267918 A2</b>	<b>17-01-2018</b>
		<b>KR 20170125360 A</b>	<b>14-11-2017</b>
		<b>US 2018008355 A1</b>	<b>11-01-2018</b>
		<b>WO 2016144875 A2</b>	<b>15-09-2016</b>
-----			
<b>WO 2015026546 A2</b>	<b>26-02-2015</b>	<b>US 2015057675 A1</b>	<b>26-02-2015</b>
		<b>WO 2015026546 A2</b>	<b>26-02-2015</b>
-----			
<b>WO 2021161162 A1</b>	<b>19-08-2021</b>	<b>AU 2021218253 A1</b>	<b>08-09-2022</b>
		<b>BR 112022015775 A2</b>	<b>11-10-2022</b>
		<b>CA 3166782 A1</b>	<b>19-08-2021</b>
		<b>CN 115151215 A</b>	<b>04-10-2022</b>
		<b>EP 4103097 A1</b>	<b>21-12-2022</b>
		<b>EP 4295800 A2</b>	<b>27-12-2023</b>
		<b>IT 202000002548 A1</b>	<b>10-08-2021</b>
		<b>JP 2023514186 A</b>	<b>05-04-2023</b>
		<b>KR 20220140601 A</b>	<b>18-10-2022</b>
		<b>US 2023092748 A1</b>	<b>23-03-2023</b>
<b>WO 2021161162 A1</b>	<b>19-08-2021</b>		
-----			
<b>US 2022142736 A1</b>	<b>12-05-2022</b>	<b>KR 20210012462 A</b>	<b>03-02-2021</b>
		<b>KR 20210081313 A</b>	<b>01-07-2021</b>
		<b>US 2022142736 A1</b>	<b>12-05-2022</b>
		<b>WO 2021015599 A1</b>	<b>28-01-2021</b>
-----			