

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : DENJEAN Stéphane — FR, DI LORIO
Alexandre — FR, HULET Christophe — FR, LAMGLAIT
Emmanuel — FR, LE TIEC Thierry — FR, LE VIGUEL-
LOUX Augustin — FR, PERONNE Etienne — FR,
PINEAU Vincent — FR, POTEL Jean-François — FR,
TAYOT Olivier — FR et SIBONI Renaud — FR.

72 Inventeur(s) : DENJEAN Stéphane, DI LORIO
Alexandre, HULET Christophe, LAMGLAIT Emmanuel,
LE TIEC Thierry, LE VIGUELLOUX Augustin,
PERONNE Etienne, PINEAU Vincent, POTEL Jean-
François, SIBONI Renaud et TAYOT Olivier.

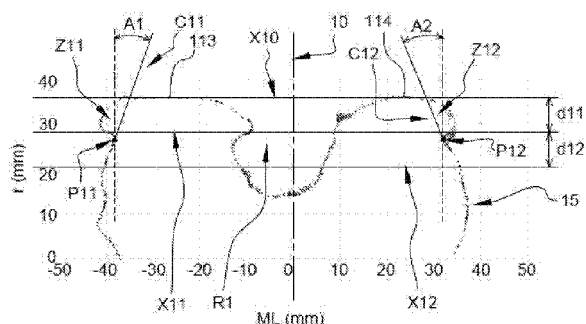
73 Titulaire(s) : DENJEAN Stéphane, DI LORIO
Alexandre, HULET Christophe, LAMGLAIT Emmanuel,
LE TIEC Thierry, LE VIGUELLOUX Augustin,
PERONNE Etienne, PINEAU Vincent, POTEL Jean-
François, TAYOT Olivier, SIBONI Renaud.

74 Mandataire(s) : CABINET GERMAIN ET MAUREAU.

54 Procédé de construction d'un composant articulaire d'une prothèse totale du genou à partir d'une
modélisation tridimensionnelle dans laquelle sont supprimés les ostéophytes.

57 L'invention se rapporte à un procédé de construction
d'un composant articulaire pour un élément d'articulation,
comprenant tout d'abord une phase préparatoire durant la-
quelle est construite une modélisation tridimensionnelle de
l'élément d'articulation qui est ensuite sectionnée en plu-
sieurs sections de travail (15) réparties dans différents plans
et contenant chacune un ensemble de points géométriques
définissant une coupe dans le plan de l'élément d'articula-
tion. Suite à cela est réalisée une phase de suppression
d'ostéophytes appliquée à chaque section de travail de la
modélisation tridimensionnelle, qui consiste à déterminer si
la section de travail étudiée contient des zones aberrantes
(Z11, Z12) contenant des points géométriques aberrants re-
présentatifs d'ostéophytes et si c'est le cas, à supprimer ces
zones aberrantes ; permettant l'obtention in fine d'une sec-
tion de travail nettoyée. L'ensemble des sections de travail
nettoyées sont finalement exploitées pour construire le
composant fémoral ou tibial.

Figure de l'abrégé : Figure 6



Description

Titre de l'invention : Procédé de construction d'un composant articulaire d'une prothèse totale du genou à partir d'une modélisation tridimensionnelle dans laquelle sont supprimés les ostéophytes

Domaine technique

- [0001] L'invention se rapporte à un procédé de construction d'un composant articulaire d'une prothèse totale du genou.
- [0002] Elle se rapporte plus particulièrement à un procédé de construction d'un composant articulaire d'une prothèse totale du genou - tel qu'un composant fémoral et un composant tibial - pour lequel ladite construction repose sur une modélisation tridimensionnelle d'un élément d'articulation – tel que le fémur et le tibia - sur lequel doit être posé le composant articulaire.

Technique antérieure

- [0003] En raison d'une plus grande espérance de vie ou bien de l'augmentation de la prévalence de l'obésité, de plus en plus de personnes souffrent d'arthrose qui est une pathologie usant ou détruisant le cartilage articulaire. Il en résulte des douleurs lors de la marche ou même au repos qui baissent la qualité de vie. C'est pourquoi l'arthroplastie du genou connaît aujourd'hui un essor grandissant, avec une importante demande. Les résultats fonctionnels de cette intervention chirurgicale ont pu être améliorés ces dernières années grâce à : des techniques à la pointe des dernières technologies, plus fiables et moins invasives ; une meilleure gestion de la douleur post-opératoire ; et l'instauration d'une physiothérapie intense et précoce.
- [0004] De manière connue, une prothèse totale du genou vise à retirer les zones d'os et de cartilage usées des surfaces articulaires du genou (partie distale du fémur, partie proximale du tibia, et parfois patella) par des pièces artificielles réalisées avec des matériaux particulièrement résistants aux contraintes mécaniques et abrasives, et collaborant ensemble en vue de restituer les mobilités des articulations du genou qu'elles remplacent.
- [0005] La prothèse totale du genou doit également permettre au patient chez qui elle est posée d'avoir un appui stable de sorte qu'il retrouve un bon périmètre (une bonne capacité) de marche. Généralement, la prothèse totale du genou est proposée et mise en place qu'en cas de lésions graves : arthrose évoluée, polyarthrite rhumatoïde, destructions d'origine traumatique.
- [0006] Cependant, près de 20% des patients se disent aujourd'hui insatisfaits de la pose d'une prothèse totale du genou, soit parce que les douleurs post-opératoires et après la pose de la prothèse totale du genou persistent, soit parce que la prothèse ne répond pas

en termes de mobilité d'articulation à leurs attentes. Les douleurs et le manque de mobilité sont généralement dus au fait que les prothèses totales du genou sont proposées pour des morphologies standards de patients. Si elles peuvent convenir pour une majorité d'entre eux, il s'avère dans certains cas que leur encombrement prothétique est inadapté à la morphologie du patient, c'est-à-dire à la morphologie, ou taille, de la partie distale de son fémur ; et/ou de celle de la partie proximale de son tibia ; et/ou de celle de sa patella.

- [0007] Le composant fémoral est d'ailleurs le composant de la prothèse le plus complexe à concevoir et fabriquer car il doit restituer les cinématiques du genou d'origine (par exemple, les mouvements de flexion et d'extension) ; et le composant tibial, certes plus simple à concevoir, se doit d'être adapté au tibia et au composant fémoral associé.
- [0008] Il est ainsi connu de concevoir les composants fémoraux et les composants tibiaux à partir d'images numériques médicales de fémur et de tibia, que ce soit pour construire des modèles standardisés s'inscrivant dans des gammes de composants, ou pour construire des modèles personnalisés propres aux patients.
- [0009] Cependant, il est bien souvent observé la présence d'ostéophytes sur les éléments d'articulation, fémur et tibia, qui sont des excroissances osseuses se formant aux extrémités d'un os d'une articulation. Il s'agit d'une réponse de l'organisme à une usure, une dégénérescence, ou une destruction du cartilage articulaire faisant qu'il n'assure plus son rôle d'amortisseur lors d'un effort et que l'os va subir beaucoup plus de pression.
- [0010] Plusieurs facteurs sont responsables de l'apparition d'ostéophytes par exemple : l'âge, l'arthrite, la surcharge pondérale, une sollicitation importante des os lors de gestes ou d'efforts répétés (comme c'est le cas chez les sportifs ou les personnes exerçant une profession principalement manuelle/physique). Les ostéophytes sont particulièrement fréquents chez les personnes souffrant d'arthrose. Cette maladie articulaire devient de plus en plus répandue avec l'espérance de vie qui augmente une plus importante prévalence de l'obésité.
- [0011] C'est pourquoi les composants fémoraux et tibiaux construits à partir d'images numériques médicales de fémur et de tibia présentant des ostéophytes, peuvent ne pas être adaptés aux patients. En effet, ces ostéophytes constituent des formes d'aberration qui éloignent des surfaces articulaires natives, tendant ainsi à construire des composants articulaires peu ou mal adaptés à ces surfaces articulaires natives (avant la formation des ostéophytes), et très souvent des composants articulaires surdimensionnés.
- [0012] Il existe donc un besoin d'améliorer la construction de tels composants articulaires afin que ces derniers soient le plus adaptés pour se conformer aux formes des surfaces articulaires natives.

Résumé de l'invention

- [0013] L'invention se propose de répondre aux problématiques exposées ci-dessus en visant à améliorer très significativement la correspondance entre l'encombrement prothétique et la morphologie initiale du genou du patient. Cette amélioration consiste à adapter le plus précisément possible un composant articulaire de la prothèse du genou à une surface articulaire native d'un élément d'articulation du genou sur laquelle le composant articulaire doit être posé.
- [0014] Ainsi l'invention se rapporte à un procédé de construction d'au moins un composant articulaire, de type composant fémoral ou composant tibial, pour une prothèse totale du genou, ledit composant articulaire étant conformé pour être posé sur un élément d'articulation de type fémur ou tibia, dans lequel ledit procédé de construction comprend une phase préparatoire mettant en œuvre au moins les étapes suivantes :
- obtention d'un jeu d'images numériques médicales de l'élément d'articulation d'un patient ;
 - construction d'une modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation à partir du jeu d'images numériques médicales associé ;
 - sectionnement de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation en plusieurs sections de travail réparties dans différents plans, chaque section de travail étant définie par un ensemble de points géométriques ;
- dans lequel le procédé de construction comprend une phase de suppression d'ostéophytes appliquée à chaque section de travail parmi les plusieurs sections de travail afin de construire une pluralité de sections de travail nettoyées, ladite phase de suppression d'ostéophytes comprenant les étapes suivantes :
- détermination dans la section de travail d'au moins une zone aberrante représentative d'un ostéophyte ;
 - construction de la section de travail nettoyée associée à la section de travail, ladite section de travail nettoyée correspondant à la section de travail dans laquelle est supprimée l'au moins une zone aberrante ;
- et dans lequel le procédé de construction comprend une étape d'obtention de variables géométriques représentatives d'une géométrie de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation dans les plusieurs sections de travail nettoyées ;
- ledit procédé de construction comprenant ensuite une étape de construction de l'au moins un composant articulaire à partir de valeurs des variables géométriques.
- [0015] Autrement dit, selon le procédé de construction, la construction d'un composant fémoral (respectivement d'un composant tibial) passe par plusieurs phases successives qui sont :
- la phase préparatoire ;

- la phase de suppression des ostéophytes ; et
- enfin une phase de modélisation tridimensionnelle du composant fémoral ou du composant tibial à partir de laquelle sera fabriqué le composant articulaire physique qui sera posé sur le patient.

- [0016] La phase préparatoire repose en premier lieu sur la modélisation en trois dimensions du fémur (respectivement du tibia), plus précisément de la partie distale du fémur ou fémur distal (respectivement la partie proximale du tibia ou tibia proximal), d'un patient. Pour cela sont recueillies plusieurs images numériques médicales du fémur distal (respectivement du tibia proximal) du patient, lesquelles sont prises sous différents angles de vue afin in fine de le modéliser en trois dimensions et en intégralité, auxquelles un traitement numérique est appliqué, par exemple une méthode de segmentation. La modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation correspond par exemple à un nuage de points et/ou à un maillage tridimensionnel.
- [0017] La phase préparatoire comprend ensuite un sectionnement de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation en plusieurs sections dites sections de travail qui sont des plans de coupe fictifs orientés dans différentes directions. Chacune des sections de travail comprend un ensemble de points géométriques correspondant aux points définissant le contour de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation et qui sont compris dans ladite section de travail.
- [0018] Avant que le procédé mette en œuvre une analyse d'image pour concevoir le composant articulaire (composant fémoral ou composant tibial), ce procédé met en œuvre la phase de suppression d'ostéophytes, qui est en fait une phase de suppression virtuelle des ostéophytes dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation, afin de bâtir une nouvelle modélisation (ou une modélisation nettoyée) qui sera plus proche de l'élément d'articulation natif (c'est-à-dire l'élément d'articulation avant la formation des ostéophytes).
- [0019] Procéder à une analyse d'image en laissant les ostéophytes en l'état conduirait en effet à tenir compte de ces ostéophytes qui forment des aberrations dans la cinématique articulaire et dans les dimensions des éléments d'articulation.
- [0020] Autrement dit, le procédé de construction comprend avant la modélisation tridimensionnelle du composant articulaire cette phase de suppression des ostéophytes, qui revient donc à supprimer virtuellement sur la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation d'éventuelles ostéophytes en vue de la nettoyer.
- [0021] La phase de suppression des ostéophytes est basée sur un nettoyage virtuel de chacune des sections de travail segmentant la modélisation tridimensionnelle du composant articulaire afin d'obtenir une pluralité de sections de travail nettoyées, et par extension une modélisation tridimensionnelle du composant articulaire nettoyée. Le nettoyage des sections de travail consiste à identifier la présence ou non dans

chacune d'elles d'ensemble de points qui seraient aberrants et qui délimiteraient des zones aberrantes représentatives d'un ou plusieurs ostéophytes.

[0022] Une fois la phase de suppression des ostéophytes terminée, le procédé de construction identifie dans la modélisation tridimensionnelle nettoyée de l'élément d'articulation des variables géométriques caractéristiques de sa morphologie (sans tenir donc compte des aberrations induites par les ostéophytes), et à partir desquels le procédé de construction va être en capacité de modéliser un composant articulaire adapté, pour au final pouvoir assurer sa fabrication physique.

[0023] Selon une caractéristique de l'invention, chaque section de travail est délimitée par une ligne de contour articulaire prolongée à droite et à gauche par respectivement une ligne de contour droit et une ligne de contour gauche, la ligne de contour droit et la ligne de contour gauche étant disposées de part et d'autre d'un axe central contenu dans ladite section de travail,

et dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, sont mises en œuvre les étapes suivantes :

- détermination dans la section de travail d'une zone de référence encadrée par un premier axe de référence et un second axe de référence qui sont parallèles et distants l'un de l'autre ;

- détermination dans la section de travail d'un point de référence droit et d'un point de référence gauche, ledit point de référence droit correspondant à un point le moins à droite sur la ligne de contour droit et contenu dans la zone de référence et ledit point de référence gauche correspondant à un point le moins à gauche sur la ligne de contour gauche et contenu dans la zone de référence ;

- détermination d'une ligne de coupe droite et d'une ligne de coupe gauche dans la section de travail, ladite ligne de coupe droite passant par le point de référence droit et ladite ligne de coupe gauche passant par le point de référence gauche ;

- détermination dans la section de travail d'au moins deux zones aberrantes comprenant une zone aberrante droite et une zone aberrante gauche, la zone aberrante droite étant située à droite par rapport à la ligne de coupe droite et la zone aberrante gauche étant située à gauche par rapport à la ligne de coupe gauche.

[0024] Autrement dit, pour chacune des sections de travail de l'élément d'articulation, la suppression des ostéophytes virtuelles passe par plusieurs étapes qui sont en partie basées sur les pratiques des chirurgiens en bloc opératoire avec tout d'abord la recherche dans une zone dite zone de référence d'au moins une largeur la plus étroite de l'os, qu'il s'agisse d'un fémur ou d'un tibia. Comme indiqué plus haut, la zone de référence est déterminée comme étant comprise entre un premier axe de référence et un second axe de référence. Il est précisé ultérieurement, en fonction du type de composant articulaire à modéliser/fabriquer, comment le procédé de construction

identifie/localise ces deux axes dans les modélisations tridimensionnelles des éléments d'articulation.

- [0025] Les ostéophytes peuvent se former sur toute la surface de l'élément d'articulation, laquelle n'est pas lisse/plane. Par exemple, les condyles médial et latéral d'un fémur présentent une forme arrondie. C'est pourquoi les coupes réalisées par les chirurgiens pour retirer les ostéophytes peuvent être caractérisées par des orientations/directions différentes imposées par la forme de l'élément d'articulation (dans l'exemple donné, la courbure des condyles du fémur dans le cas où des ostéophytes se seraient formés sur leur partie antérieure et/ou leur partie postérieure).
- [0026] C'est pourquoi, et comme précédemment indiqué, une section de travail dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (fémur ou tibia) est un plan de coupe fictif pouvant être orienté dans une direction donnée (l'ensemble des directions décrivant fondamentalement un cercle complet sur 360 degrés) et qui comprend un ensemble de points géométriques définissant un contour articulaire, ou une ligne de contour articulaire, représentatif de la surface articulaire de l'élément d'articulation modélisé dans ce plan de coupe.
- [0027] Etant contenue dans une section de travail/un plan de coupe, la ligne de contour présente un côté droit et un côté gauche respectivement délimités par une ligne de contour droit et une ligne de contour gauche. L'une et l'autre des deux lignes de contour sont situées de part et d'autre d'un axe central traversant centralement la surface articulaire. Cet axe de symétrie correspond sensiblement à l'axe d'extension de l'élément articulaire, à savoir l'axe fémoral ou l'axe tibial.
- [0028] Selon des orientations particulières, les lignes de contour droit et de contour gauche de la section de travail peuvent correspondre à une ligne de contour médial et une ligne de contour latéral de la surface articulaire ; ou bien alors à une ligne de contour antérieur et une ligne de contour postérieur.
- [0029] La détermination de l'au moins une largeur la plus étroite de la surface articulaire dans la section de travail consiste en une localisation dans la zone de référence :
 - d'un point de référence droit correspondant à un point le moins à droite sur la ligne de contour droit (autrement dit le point sur la ligne de contour droit qui est le plus proche de l'axe central), et
 - d'un point de référence gauche correspondant à un point le moins à gauche sur la ligne de contour gauche (autrement dit le point sur la ligne de contour gauche qui est le plus proche de l'axe central).
- [0030] Ainsi, selon des orientations de section de travail spécifique les points de référence peuvent correspondre au point le moins médial de la surface médiale de l'os modélisé et au point le moins latéral de la surface latérale ; ou bien alors au point le moins antérieur de la surface antérieure de l'os modélisé et au point le moins postérieur de la

surface postérieure.

- [0031] Dans le cas où le point de référence droit et le point de référence gauche sont alignés selon un même axe parallèle aux deux axes de référence, une seule largeur la plus étroite de l'élément d'articulation est considérée. Autrement, deux largeurs les plus étroites sont considérées.
- [0032] Suite à la détermination des deux points de références sont déterminées une ligne de coupe droite et une ligne de coupe gauche passant respectivement par le point de référence droit et le point de référence gauche.
- [0033] Là encore, ces lignes de coupe peuvent dans certaines sections de travail correspondre à une ligne de coupe médiale et une ligne de coupe latérale ; ou bien à une ligne de coupe antérieure et une ligne de coupe postérieure.
- [0034] La dernière étape mise en œuvre dans la phase de suppression des ostéophytes est la suppression effective des ensembles de points considérés comme formant des zones aberrantes représentatives d'ostéophytes. Cette suppression consiste en :
- la détermination d'au moins deux zones aberrantes comprenant une zone aberrante droite et une zone aberrante gauche, la zone aberrante droite étant située à droite par rapport à la ligne de coupe droite et la zone aberrante gauche étant située latéralement par rapport à la ligne de coupe gauche ;
 - la suppression de l'ensemble des points compris dans la zone aberrante droite et la zone aberrante gauche.
- [0035] Dans les orientations particulières, la suppression des ostéophytes revient donc à supprimer au moins une zone aberrante médiale et une zone aberrante latérale ; ou bien alors une zone aberrante antérieure et une zone aberrante postérieure.
- [0036] Selon un mode de réalisation de l'invention, la phase de suppression d'ostéophytes comprend également une étape de lissage durant laquelle est appliquée une fonction d'interpolation sur les points géométriques définissant la surface articulaire de l'os modélisé dans la section de travail qui étaient spatialement proches voisins des points aberrants venant d'être supprimés, dans le but de créer/ajouter de nouveaux points géométriques tels qu'ils modélisent les parties virtuellement reséquées de la surface articulaire.
- [0037] Selon une caractéristique de l'invention, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, la ligne de coupe droite et la ligne de coupe gauche présentent respectivement un angle de dépouille droit et un angle de dépouille gauche par rapport à l'axe central, ledit angle de dépouille droit et ledit angle de dépouille gauche étant compris entre 0 et 30 degrés.
- [0038] Dans le procédé de construction, dans chacune des sections de travail de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation, les directions de coupes considérées en fonction de la forme de l'élément d'articulation se traduisent spa-

- tialement et géométriquement par une inclinaison des lignes de coupe droite et gauche, telle que la ligne de coupe droite et la ligne de coupe gauche forment respectivement un angle de dépouille droit et un angle de dépouille gauche par rapport à l'axe central.
- [0039] Selon des orientations particulières de la section de travail, les angles de dépouille droit et gauche peuvent correspondre soit à des angles de dépouille médiale et latérale, soit à des angles de dépouille antérieure et postérieure.
- [0040] Les zones considérées comme aberrantes dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation et qui sont supprimées demeurent celles se trouvant respectivement à droite de la ligne de coupe droite et à gauche par rapport à la ligne de coupe gauche. Les angle de dépouille droit et de dépouille gauche sont définis dans le procédé de construction tels qu'ils peuvent être compris entre 0 degré (signifiant que la suppression des ostéophytes est réalisée virtuellement selon la direction proximo-distale) et 30° degrés.
- [0041] Selon une caractéristique de l'invention, la phase préparatoire comprend une détermination de données morphométriques dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation, lesdites données morphométriques caractérisant une taille de l'élément d'articulation.
- [0042] Selon une caractéristique de l'invention, lequel les données morphométriques comprennent au moins des points remarquables localisés dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation.
- [0043] Autrement dit, durant la phase préparatoire sont déterminés des données morphométriques correspondant par exemple à : des points précis de l'élément d'articulation pris comme références et/ou points de repères par les chirurgiens, et qui sont désignés comme étant des points remarquables ; et à des dimensions celui-ci. Les points remarquables permettent notamment au procédé de construction de calculer/déterminer la taille de l'élément d'articulation (qu'il s'agisse d'un fémur ou d'un tibia). La taille de l'élément d'articulation est considérée comme une donnée morphométrique puisque caractérisant sa morphologie.
- [0044] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, l'élément d'articulation est de type fémur et la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation correspond à une modélisation tridimensionnelle du fémur, telles que ladite modélisation tridimensionnelle du fémur comprend au moins une modélisation tridimensionnelle d'un condyle latéral, d'un condyle médial et d'une trochlée.
- [0045] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, les points remarquables comprennent au moins un point le plus postérieur du condyle médial, un point le plus postérieur du condyle latéral et un point le plus antérieur d'une partie de fémur distal.

- [0046] A partir de ces trois points remarquables, le processus de construction peut déterminer la taille fémorale du fémur du patient considéré, laquelle est considérée comme une donnée morphométrique puisque caractérisant la morphologie du fémur.
- [0047] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, les plusieurs sections de travail comprennent des sections de travail postérieures réparties dans différents plans autour d'un axe de révolution postérieur de direction médio-latérale, et des sections de travail antérieures réparties dans différents plans autour d'un axe de révolution antérieur de direction médio-latérale et décalé d'un entraxe donné avec l'axe de révolution postérieur le long d'un axe de fémur de direction proximo-distale.
- [0048] Autrement dit, la modélisation tridimensionnelle du fémur distal est segmentée en plusieurs sections travail de travail autour de deux axes de révolution de direction médio-latérale : un axe de révolution antérieur et un axe de révolution postérieur. Les axes de révolution antérieur et postérieur servent respectivement à la segmentation de la partie antérieure et de la partie postérieure de la modélisation tridimensionnelle du fémur distal. Chacune des sections de travail autour de l'axe de révolution antérieur (dites sections de travail antérieures) et de l'axe de révolution postérieur (dites sections de travail postérieures) est distante des sections de travail qui lui sont le plus proche antérieurement et postérieurement d'une distance angulaire. Cette distance angulaire est par exemple inférieure ou égale à 5 degrés, et en particulier comprise entre 1 et 3 degrés.
- [0049] Dans une variante de réalisation de l'invention, la distance angulaire antérieure, respectivement postérieure, séparant une section de travail antérieure, respectivement postérieure, de ses proches voisines est la même pour toutes les sections de travail antérieures, respectivement postérieures. Dans une autre variante de réalisation, la distance angulaire antérieure et la distance angulaire postérieure sont toutes deux inférieures ou égales à 5 degrés, et par exemple de l'ordre de 2 degrés.
- [0050] Les deux axes de révolution sont distants d'un entraxe dont la valeur dépend de la taille fémorale. Par exemple, cet entraxe s'exprime sous la forme d'une fonction affine de la taille fémorale. L'entraxe est confondu dans un plan sagittal qui s'étend orthogonalement aux axes de révolution antérieur et postérieur.
- [0051] Selon une caractéristique de l'invention, dans chaque section de travail, la ligne de contour articulaire suit un contour du condyle latéral, du condyle médial et de la trochlée, et la ligne de contour droite et la ligne de contour gauche correspondent respectivement à une ligne de contour médial du condyle médial et une ligne de contour latéral du condyle latéral.
- [0052] Autrement dit, quelle que soit la direction/l'orientation de la section de travail (c'est à dire qu'il s'agisse d'une section de travail antérieure ou postérieure), le ligne de

contour droite et la ligne de contour gauche correspondent respectivement au bord médial du condyle médial et au bord latéral du condyle latéral.

- [0053] Ainsi, les étapes de la phase de suppression d'ostéophytes précédemment décrites sont appliquées ici dans le cadre de la suppression d'ostéophytes que présenteraient le bord médial du condyle médial et/ou le bord latéral du condyle latéral de la surface articulaire du fémur dans la section de travail considérée.
- [0054] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, l'angle de dépouille droit et l'angle de dépouille gauche correspondent respectivement à un angle de dépouille latérale fémoral et à un angle de dépouille médiale fémoral qui sont non nuls pour chacune des sections de travail.
- [0055] Selon un mode de réalisation de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, l'angle de dépouille latérale fémoral est le même pour les sections de travail postérieures et pour les sections de travail antérieures.
- [0056] Selon un mode de réalisation de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, l'angle de dépouille médiale fémoral est différent entre les sections de travail postérieures et les sections de travail antérieures.
- [0057] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, les angles de dépouille médiale et latérale fémoral sont respectivement égaux à 25 degrés et 15 degrés lorsque la section de travail est une section de travail postérieure ; et sont tous deux égaux à 15 degrés lorsqu'il s'agit d'une section de travail antérieure.
- [0058] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, est déterminée une ligne extrême de direction médio-latérale passant par un point le plus distal du condyle latéral ou du condyle médial, et le premier axe de référence est déterminé comme étant distant de ladite ligne extrême d'une première distance de référence, le second axe de référence est déterminé comme étant distant dudit premier axe de référence d'une seconde distance de référence.
- [0059] Autrement dit, les points remarquables qu'identifie le procédé de construction lors de la phase préparatoire comprennent le point le plus distal du condyle médial et le point le plus distal du condyle latéral.
- [0060] Durant la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, les deux axes de référence sont déterminés à partir d'une ligne extrême de direction médio-latérale et contenant soit le point qui est le plus distal parmi le point le plus distal du condyle médial, soit le point le plus distal du condyle latéral. Eventuellement, les deux points peuvent appartenir tous deux à la ligne extrême s'ils sont spatialement alignés.
- [0061] Les deux axes de références sont tous deux parallèles à la ligne extrême, avec le premier axe de référence qui est distant de la ligne extrême d'une première distance de

référence qui est généralement de l'ordre de 8 mm ; et le second axe de référence quant à lui distant du premier axe de référence d'une seconde distance de référence comprise généralement entre 6 mm et 10 mm, par exemple 8 mm.

[0062] Selon une caractéristique de l'invention, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, sont mises en œuvre les étapes suivantes :

- détermination d'une ligne intérieure médiale de la trochlée et d'une ligne intérieure latérale de la trochlée, disposées de part et d'autre de l'axe central ;
- détermination dans la section de travail d'au moins deux zones aberrantes comprenant une zone aberrante intérieure médiale et une zone aberrante intérieure latérale, la zone aberrante intérieure médiale étant située latéralement par rapport à ladite ligne intérieure médiale et la zone aberrante intérieure latérale étant située médialement par ladite ligne intérieure latérale.

[0063] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la détermination de la zone aberrante intérieure médiale et de la zone aberrante intérieure latérale comprend pour chaque section de travail :

- détermination dans la section de travail d'un point de référence intérieur médial et d'un point de référence intérieur latéral, ledit point de référence intérieur médial correspondant à un point le moins médial sur la ligne intérieure médiale et contenu dans la zone de référence, et ledit point de référence intérieur latéral correspondant à un point le moins latéral sur la ligne intérieure latérale et contenu dans la zone de référence ;
- détermination d'une ligne de coupe intérieure médiale et d'une ligne de coupe intérieure latérale dans la section de travail, ladite ligne de coupe intérieure médiale passant par le point de référence intérieur médial et ladite ligne de coupe intérieure latérale passant par le point de référence intérieur latéral

[0064] Selon une caractéristique de l'invention, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, la ligne de coupe intérieure médiale et la ligne de coupe intérieure latérale présentent respectivement un angle de dépouille intérieure médiale et un angle de dépouille intérieure latérale par rapport à l'axe central, ledit angle de dépouille intérieure médiale et ledit angle de dépouille intérieure latérale étant compris entre 0 et 30 degrés.

[0065] Outre le bord médial du condyle médial et le bord latéral du condyle latéral, des ostéophytes peuvent aussi se former au niveau de l'échancrure/ de la trochlée du fémur distal ; l'échancrure incluant le bord latéral du condyle médial et le bord médial du condyle latéral. Ainsi, les étapes décrites ci-dessus visent à la suppression, dans la section de travail considérée, de zones aberrantes représentatives d'ostéophytes que présenterait la surface articulaire du fémur au niveau de la trochlée.

[0066] La façon de procéder à la suppression des ostéophytes au niveau de la trochlée est sur

le principe similaire à la façon de procéder pour les supprimer au niveau du bord médial du condyle médial et du bord latéral du condyle latéral.

- [0067] Les bords médial et latéral de la trochlée sont considérés comme compris respectivement dans une ligne intérieure médiale et une ligne intérieure latérale positionnée l'une l'autre de part et d'autre de l'axe central précédemment défini.
- [0068] Les étapes de suppression d'ostéophytes dans la trochlée débutent avec la recherche, dans la zone de référence précédemment déterminée lors de la mise en œuvre des étapes de suppression d'ostéophytes au niveau des deux condyles, de la ou des distances d'écartement les plus grandes entre le bord médial et le bord latéral de la trochlée. Ainsi sont recherchés un point de référence intérieur médial et un point de référence intérieur latéral, tel que le point de référence intérieur médial correspond au point le moins médial sur la ligne intérieure médiale et le point de référence intérieur latéral correspond au point le moins latéral sur la ligne intérieure latérale.
- [0069] A partir du point de référence intérieur médial et du point de référence intérieur latéral sont respectivement déterminées une ligne de coupe intérieure médiale passant par le point de référence intérieur médial et une ligne une ligne de coupe intérieure latérale passant par le point de référence intérieur latéral, lesquelles lignes de coupes intérieure médiale et intérieure latérale présentent respectivement un angle de dépouille intérieure médiale et un angle de dépouille intérieure latérale par rapport à l'axe central.
- [0070] Suite à cela, le procédé de construction supprime les zones aberrantes présentes au niveau de la trochlée, ces zones aberrantes correspondant à une zone aberrante intérieure médiale et à une zone aberrante intérieure latérale telle que :
 - la zone aberrante intérieure médiale est située latéralement par rapport à la ligne de coupe intérieure médiale, et
- [0071] - la zone aberrante intérieure latérale est située médialement par rapport à la ligne de coupe intérieure latérale.
- [0072] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille intérieure latérale est le même pour les sections de travail postérieures et pour les sections de travail antérieures.
- [0073] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille intérieure médiale est différent entre les sections de travail postérieures et les sections de travail antérieures.
- [0074] Autrement dit, dans un mode de réalisation de l'invention, les valeurs des angles de dépouille intérieure médiale et de dépouille intérieure latérale peuvent posséder respectivement les mêmes propriétés que celles des angles de dépouille médiale et de dépouille latérale.
- [0075] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention :

- la valeur de l'angle de dépouille intérieure médiale est égale à la valeur de l'angle de dépouille latérale, c'est-à-dire que la valeur de l'angle de dépouille intérieure médiale est égal à 15 degrés quelle que soit la section de travail considérée (section de travail antérieure ou section de travail postérieure) ; et
- la valeur de l'angle de dépouille intérieure latérale est égale à la valeur de l'angle de dépouille médiale, c'est-à-dire que la valeur de l'angle de dépouille intérieure latérale est égal à 25 degrés lorsque la section de travail est une section de travail postérieure, et est égal à 15 degrés lorsque la section de travail est une section de travail antérieure.

- [0076] Selon une première variante de réalisation de l'invention, le procédé de construction peut mettre en œuvre, comme décrit jusqu'ici, dans la section de travail, les étapes pour la suppression des ostéophytes s'étant éventuellement formés sur le bord médial du condyle latéral et du bord latéral du condyle latéral de la surface articulaire du fémur avant de procéder à la suppression des ostéophytes s'étant éventuellement formés dans la trochlée.
- [0077] Dans une seconde variante de réalisation de l'invention, le procédé de construction met cette fois-ci en œuvre les étapes de suppression d'ostéophytes au niveau de la trochlée avant celles de suppression d'ostéophytes au niveau du bord médial du condyle latéral et du bord latéral du condyle latéral. Dans cette variante de réalisation, cela signifie que la détermination des premier et second axes de référence délimitant la zone de référence est réalisée avant l'étape de détermination dans la section de travail du point de référence intérieur médial et du point de référence intérieur latéral.
- [0078] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant fémoral, la phase préparatoire comprend une étape de détermination d'un gabarit de coupe dans la modélisation tridimensionnelle du fémur, en fonction des données morphométriques.
- [0079] Dans la pratique, le gabarit de coupe est utilisé par le chirurgien, qui l'applique à la surface osseuse du fémur, pour réaliser des coupes osseuses et définir des pans d'appui qui servent à la pose du composant fémoral. Le gabarit de coupe présente la même forme/la même courbure que la face interne du composant fémoral qui est appliquée et maintenue sur la surface du fémur distal.
- [0080] A partir de données morphométriques de la modélisation tridimensionnelle du fémur nettoyée/reséquée, notamment le point distal et le point le plus postérieur de chacun des condyles médial et latéral, le procédé de construction modélise une modélisation tridimensionnelle du gabarit de coupe, laquelle va être ensuite utilisée par le procédé de construction pour la construction de la modélisation tridimensionnelle d'un composant fémoral.
- [0081] A noter que le premier axe de référence se rapporte physiquement à une ligne de coupe de direction médio-latérale dans un plan de coupe pour laquelle toute partie

osseuse de la surface articulaire située distalement par rapport à cette ligne de coupe médio-latérale est reséquée. Ainsi, le premier axe de référence correspond dans la modélisation tridimensionnelle du fémur aux pans d'appui du composant fémoral.

- [0082] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, l'élément d'articulation est de type tibia et la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation correspond à une modélisation tridimensionnelle du tibia, telles que ladite modélisation tridimensionnelle du tibia comprend au moins une modélisation tridimensionnelle d'un plateau tibial, d'un compartiment médial et d'un compartiment latéral.
- [0083] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, les points remarquables comprennent au moins un point le plus antérieur du compartiment médial ou un point le plus antérieur du compartiment latéral.
- [0084] Plus précisément, les points remarquables comprennent le point le plus antérieur du compartiment médial ou celui du compartiment latéral en fonction d'une déformation que présente le genou du patient. Si la déformation du genou est de type genu varum, alors les points remarquables comprennent le point le plus antérieur du compartiment médial. Si la déformation du genou est de type genu valgum, alors les points remarquables comprennent le point le plus antérieur du compartiment latéral.
- [0085] Dans un premier mode de réalisation de l'invention, le type de déformation est connu du procédé de construction en étant renseigné par un opérateur, comme le chirurgien, le mettant en œuvre.
- [0086] Dans un second mode de réalisation de l'invention, lorsque doit être modélisé un composant tibial, la phase préparatoire comprend une étape additionnelle durant laquelle le procédé de construction analyse les données morphométriques relatives à la modélisation tridimensionnelle du tibia pour déterminer le type de déformation, et à partir de là identifier le point remarquable d'intérêt parmi le point le plus antérieur du compartiment médial et le point le plus antérieur du compartiment latéral.
- [0087] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, la phase préparatoire comprend la détermination d'un plan de résection tibiale qui est distant, selon une direction proximo-distale du tibia, soit du point le plus antérieur du compartiment médial d'une première distance donnée, soit du point le plus antérieur du compartiment latéral d'une seconde distance donnée.
- [0088] Dans le cas d'une déformation de type genu varum, le plan de résection tibial est distant du point le plus antérieur du compartiment médial d'une distance médiale généralement égale à 6 mm. Dans le cas d'une déformation de type genu valgum, le plan de résection tibial est distant du point le plus antérieur du compartiment médial d'une distance externe généralement égale à 10 mm. Les valeurs de distances médiale et

latérale sont relatives aux pratiques des chirurgiens dans la résection de la partie proximale d'un tibia et de la pose d'un composant tibial.

- [0089] Ainsi, toute la partie osseuse du tibia se trouvant au-dessus du plan de résection tibial est réséqué. La surface articulaire nettoyée au niveau du plan de résection tibial correspond donc à la surface d'appui sur laquelle va être posée le composant tibial.
- [0090] Dans un premier mode de réalisation de l'invention, le plan de résection tibiale est un plan horizontal distant de la première distance (respectivement de la seconde distance) du point le plus antérieur du compartiment médial (respectivement du compartiment latéral).
- [0091] Dans un second mode de réalisation de l'invention, le plan de résection tibiale présente une pente postérieure non nulle et inférieure ou égale à 15 degrés, par exemple une pente postérieure de 3 degrés.
- [0092] Dans un troisième mode de réalisation de l'invention, il est envisageable que le plan de résection tibiale présente un varus valgus non nul et inférieur ou égal à 5 degrés, par exemple un varus valgus de 3 degrés.
- [0093] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, le premier axe de référence est déterminé correspondant à l'intersection entre la section de travail et le plan de résection tibiale, et le second axe de référence est déterminé comme étant distant dudit premier axe de référence d'une distance de référence selon l'axe central.
- [0094] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, la distance de référence est égale à 6 mm ; signifiant que le second axe de référence est parallèle du premier axe de référence de cette distance de référence.
- [0095] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail, l'angle de dépouille droit et l'angle de dépouille gauche sont identiques pour chacune des sections de travail.
- [0096] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, pour chaque section de travail, l'angle de dépouille droit et l'angle de dépouille gauche sont nuls.
- [0097] Autrement dit, dans ce mode de réalisation préférentiel de l'invention, les lignes de coupe droite et gauche s'étendent parallèlement à l'axe central.
- [0098] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est un composant tibial, les plusieurs sections de travail sont soit :
 - des sections sagittales parallèles entre elles et toutes orthogonales à une direction médio-latérale ou une direction antéro-postérieure ; ou
 - des sections réparties dans différents plans autour d'un ou plusieurs axes de ré-

volution de direction proximo-distale.

[0099] Autrement dit, durant la phase préparatoire, dans un premier mode de réalisation de l'invention, la modélisation tridimensionnelle du tibia est sectionnée en une pluralité de sections sagittales qui sont parallèles entre elles et distantes les uns des autres d'une distance de séparation ; et toutes orthogonales à une direction médio-latérale ou une direction antéro-postérieure.

[0100] Ainsi, dans ce premier mode de réalisation de l'invention, et comme précédemment expliqué, suivant la direction avec laquelle toutes les sections de travail sont orthogonales :

- les lignes de contour droit et de contour gauche de la section de travail peuvent correspondre soit à une ligne de contour médial et une ligne de contour latéral de la surface articulaire du tibia ; ou bien alors à une ligne de contour antérieur et une ligne de contour postérieur ;

- les points de référence droit et gauche peuvent correspondre soit au point le moins médial de la surface médiale du tibia et au moins le moins latéral de la surface latérale ; ou bien alors au point le moins antérieur de la surface antérieure de l'os modélisé et au point le moins postérieur de la surface postérieure ;

- les lignes de coupe droite et gauche peuvent correspondre soit à une ligne de coupe médiale et une ligne de coupe latérale ; ou bien à une ligne de coupe antérieure et une ligne de coupe postérieure ;

- et les angles de dépouille droit et gauche peuvent correspondre soit à des angles de dépouille médiale et latérale, soit à des angles de dépouille antérieure et postérieure ; cela dans le but de supprimer soit au moins une zone aberrante médiale et une zone aberrante latérale de la surface articulaire tibiale ; ou bien alors moins une zone aberrante antérieure et une zone aberrante postérieure.

[0101] L'orientation sagittale des sections de travail est définie conformément à une ligne dite ligne d'Akagi qui relie le bord médial de la tubérosité tibiale antérieure et l'insertion du ligament croisé postérieur.

[0102] Dans un second mode de réalisation, les sections de travail sont réparties autour d'un ou plusieurs axes de révolution de direction médio-latérale ; par exemple un axe de révolution médial et un axe de révolution latéral situé respectivement médialement et latéralement dans la modalisation tridimensionnelle du tibia.

[0103] Selon une caractéristique de l'invention, lorsque le composant articulaire est de type composant tibial, le jeu d'images numériques médicales comprend des images issues d'un scanner médical, par exemple au format DICOM.

Brève description des dessins

[0104] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la

lecture de la description détaillée ci-après, d'un exemple de mise en œuvre non limitatif, faite en référence aux figures annexées dans lesquelles :

- [0105] [Fig.1] est une illustration schématique d'une prothèse totale du genou, laquelle est constituée par un composant fémoral, un composant tibial, un composant patellaire (non représenté) et un insert ;
- [0106] [Fig.2] regroupe des vues en trois dimensions d'une modélisation tridimensionnelle d'un composant fémoral type pouvant être construite au moyen du procédé de construction, avec une vue de face (a) et une arrière (b) ;
- [0107] [Fig.3] illustre deux vues en perspectives d'une modélisation tridimensionnelle d'un fémur distal d'un patient sur lesquelles sont visibles les condyles médial et latéral, ainsi que la trochlée ; avec la première vue (a), respectivement la seconde vue (b), orientée de sorte que la partie antérieure, respectivement la partie postérieure, des deux condyles soient face à l'observateur ; et sont identifiées des données morphométriques dont des points remarquables ;
- [0108] [Fig.4] illustre la segmentation de la modélisation tridimensionnelle du fémur, laquelle est ici représentée en nuage de points, en plusieurs sections de travail antérieures et postérieures respectivement réparties autour d'un axe de révolution antérieur et d'un de révolution postérieur, les deux axes étant distants d'un entraxe de direction proximo-distal (a) ; et un exemple de superposition de trois sections de travail successives s'articulant autour d'un des deux axes de révolution ;
- [0109] [Fig.5] est une représentation de l'ensemble des points géométriques modélisant le contour du fémur distal, avec ses condyle médial et latéral ainsi que sa trochlée, dans une section de travail ; sur laquelle sont visibles des ostéophytes s'étant formés sur la surface osseuse du fémur au niveau des extrémités des deux condyles et de la trochlée/l'échancrure ;
- [0110] [Fig.6] illustre le principe de la phase de suppression d'ostéophytes appliquée à la ligne de contour du fémur de la [Fig.5] pour la suppression des zones aberrantes représentatives d'ostéophytes qui se sont formés au niveau du bord médial du condyle médial et au niveau du bord latéral du condyle latéral du fémur distal ;
- [0111] [Fig.7] illustre le principe de la phase de suppression d'ostéophytes appliquée la ligne de contour du fémur des [Fig.5] et [Fig.6] pour la suppression des zones aberrantes représentatives d'ostéophytes qui se sont formés au niveau de l'échancrure/de la trochlée du fémur distal ;
- [0112] [Fig.8] est une représentation de la ligne de contour du fémur considérée dans les Figures 5 à [Fig.7] une fois nettoyée après application de la phase de suppression d'ostéophytes, et pour laquelle l'ensemble des points la définissant ne comprend plus les points aberrants ;
- [0113] [Fig.9] illustre la différence de valeur de largeur médio-latérale déterminée lorsque

sont conservés ou supprimés les points aberrants de la ligne de contour du fémur considérée dans les [Fig.5] à [Fig.8] ; la largeur médio-latérale étant une variable géométrique utilisée dans le cadre de la construction de la modélisation tridimensionnelle du composant fémoral ;

[0114] [Fig.10] illustre deux modélisations tridimensionnelles d'une partie proximales d'un tibia dans lesquelles sont identifiés respectivement le point le plus antérieur du compartiment latéral (a), et le point le plus antérieur du compartiment médial (b) ; et tracé le plan de résection tibiale ;

[0115] [Fig.11] illustre, par le biais d'une vue de dessus d'une modélisation tridimensionnelle d'une partie proximale de tibia, les deux possibilités de sectionnement de ladite modélisation tridimensionnelle en une pluralité de sections de travail : un sectionnement sagittal avec des sections sagittales parallèles entre elles et toutes orthogonales à une direction médio-latérale ou une direction antéro-postérieure (a), un sectionnement dans différents plans autour de plusieurs axes de révolution (b) ; est également représenté la modélisation tridimensionnelle du composant tibial résultant de l'étape de construction.

[0116] [Fig.12] illustre sur une vue de dessus d'un tibia le concept de ligne d'Akagi à partir de laquelle est définie l'orientation sagittale des sections de travail selon le sectionnement présenté [Fig.11]-a ;

[0117] [Fig.13] est un schéma d'illustration d'une ligne de contour du tibia dans une section sagittale à laquelle est appliquée la phase de suppression d'ostéophytes ;

[0118] [Fig.14] montre la ligne de contour du tibia considérée dans la [Fig.13] avant et après application de la méthode de suppression d'ostéophytes.

[0119] **[Description détaillée d'un ou plusieurs modes de réalisation de l'invention]**

[0120] En référence à la [Fig.1], une prothèse totale du genou 100 est au moins constituée d'un composant fémoral 101, d'un composant tibial 102, et d'un insert 103 en matière plastique (généralement en polyéthylène) venant s'intercaler entre le composant fémoral 101 et le composant tibial 102 pour permettre une interaction entre les deux composants et un bon coulisement de la prothèse totale du genou 100 en vue de restituer la cinématique de celui-ci. En fonction du degré de dégradation du cartilage du genou, la prothèse totale du genou peut également comprendre un composant patellaire, non représenté sur la [Fig.1].

[0121] Le procédé de construction proposé dans l'invention permet de construire des composants fémoraux 101 et/ou tibiaux 102 et vise :

- à améliorer très significativement la correspondance entre l'encombrement prothétique et la morphologie initiale du genou du patient,
- à adapter les surfaces articulaires du composant fémoral 101 et du composant tibial 102 aux surfaces natives de la partie distale du fémur et de la partie proximale du tibia

du patient, afin d'offrir une cinématique qui est la plus proche de la cinématique de la physiologie du genou du patient.

[0122] Quel que soit le type de composant articulaire 101 ; 102 considéré, le procédé de construction repose sur la succession notamment de deux phases qui sont une phase préparatoire et une phase de suppression d'ostéophyte(s) ; suivies d'une étape de construction durant laquelle est tout d'abord modélisé tridimensionnellement le composant articulaire 101 ; 102 selon au moins les actions réalisées au cours de la phase préparatoire et la phase de suppression d'ostéophyte ; puis est fabriqué le composant articulaire 101 ; 102 physique sur la base de sa modélisation tridimensionnelle. Un exemple de modélisation tridimensionnelle de composant fémoral 101 type est illustré [Fig.2].

[0123] Les deux phases et l'ensemble des étapes aboutissant à la construction du composant articulaire 101 ; 102 repose sur les mêmes principes/fondements que l'élément d'articulation soit un fémur ou un tibia. La suite de la description s'articule sur une description générale de ces phases et étapes. Puis, des précisions sont ensuite apportées à chacune d'elles en considérant que le composant articulaire 101 ; 102 est un composant fémoral 101 ; puis ensuite un composant tibial 102.

[0124] Les phases préparatoire et de suppression d'ostéophyte(s), et la modélisation tridimensionnelle des composant articulaires 101 ; 102 sont mises en œuvre au moyen d'un outil de conception 3D installé sur une station de travail, par exemple un ordinateur de bureau.

[0125] La phase préparatoire commence par recueillir plusieurs images numériques médicales d'un fémur distal et/ou d'un tibia proximal d'un patient, lesquelles sont prises sous différents angles de vue. Dans la suite de la description, pour plus de praticité, les termes seuls de fémur et de tibia désignent respectivement le fémur distal et le tibia proximal. Dans un mode de réalisation de l'invention, ces images numériques médicales peuvent provenir d'un scanner médical, et se présenter sous un format défini selon les normes et standards en vigueur pour les données issues de l'imagerie médicale, par exemple le standard/format DICOM.

[0126] Les images numériques récupérées sont alors soumises à un traitement numérique, par exemple une méthode de segmentation, en vue d'obtenir selon le contexte applicatif une modélisation tridimensionnelle d'un fémur 1 ou d'un tibia 2 correspondant à un nuage de points formant virtuellement et spatialement dans son intégralité la surface osseuse du fémur ou du tibia. En référence à la [Fig.3], sont notamment modélisés dans la modélisation tridimensionnelle du fémur 1 le condyle médial 61, le condyle latéral 62, et la trochlée 63.

[0127] En référence à la [Fig.3], la modélisation tridimensionnelle du fémur 1 comprend les modélisations tridimensionnelles des condyles médial 161 et latéral 162, et de la

trochlée 163 (aussi appelée échancrure).

- [0128] En référence à la [Fig.10], la modélisation tridimensionnelle du tibia 2 comprend les modélisations tridimensionnelles du plateau tibial 270, et des compartiments médiaux 271 et latéraux 272.
- [0129] Dans une variante de réalisation de l'invention, les modélisations tridimensionnelles du fémur 1 et du tibia 2 peuvent également être modélisées selon une méthode de maillage 3D. Dans une seconde variante de réalisation, les deux types de modélisation sont proposés par l'outil de conception 3D. Dans une troisième variante, il est envisageable que l'outil de conception 3D puisse proposer une option pour appliquer sur les modélisations tridimensionnelles du fémur 1 et du tibia 2 des textures dont les nuances et couleurs sont représentatives d'un fémur et d'un tibia physiques.
- [0130] Une fois le fémur ou le tibia modélisé tridimensionnellement, la phase préparatoire comprend une détermination dans les deux types de modélisation de données morphométriques. Ces données morphométriques peuvent correspondre à : des points précis de l'élément d'articulation pris comme références et/ou points de repères par les chirurgiens, et qui sont désignés comme étant des points remarquables 110, 111, 112, 113, 114 ; 211, 212 ; et à des dimensions de celui-ci. Les points remarquables 110, 111, 112, 113, 114 ; 211, 212 permettent notamment au procédé de construction de calculer/déterminer la taille de l'élément d'articulation, laquelle taille est aussi considérée comme une donnée morphométrique puisque caractérisant la morphologie de l'élément d'articulation.
- [0131] Lorsque la modélisation tridimensionnelle considérée est celle d'un fémur, les points remarquables 110, 111, 112, 113, 114 comprennent par exemple au moins les points suivants parmi :
- le point le plus antérieur 110 du fémur, et les points les plus postérieurs 111, 112 des condyles médial 161 et latéral 162 qui servent tous trois à déterminer la taille du fémur (ou taille fémorale), ainsi que :
 - les points les plus distaux 113, 114 des condyles médial 161 et latéral 162 qui sont déterminés en vue de mettre en œuvre la phase de suppression d'ostéophyte (voir plus loin).
- [0132] Lorsque la modélisation tridimensionnelle considérée est celle d'un tibia, les points remarquables 211, 212 peuvent être fonction d'une déformation que présente le genou du patient. Si la déformation du genou est de type genu varum, alors les points remarquables comprennent le point le plus antérieur 211 du compartiment médial 271. Si la déformation du genou est de type genu valgum, alors les points remarquables comprennent le point le plus antérieur 272 du compartiment latéral 212. L'un ou l'autre des deux points le plus antérieur 271, 272 est ensuite utilisé comme point de repère lors de la réalisation de la phase de suppression d'ostéophytes (voir plus bas).

- [0133] Dans un premier mode de réalisation de l'invention, le type de déformation est connu du procédé de construction en étant renseigné par un opérateur, comme le chirurgien, le mettant en œuvre.
- [0134] Dans un second mode de réalisation de l'invention, la phase préparatoire comprend une étape additionnelle durant laquelle le procédé de construction analyse les données morphométriques relatives à la modélisation tridimensionnelle du tibia 2 pour déterminer le type de déformation, et à partir de là identifier le point remarquable 271, 272 d'intérêt parmi le point le plus antérieur du compartiment médial 271 et le point le plus antérieur du compartiment latéral 272.
- [0135] En référence aux [Fig.4] et [Fig.11], la phase préparatoire comprend ensuite un sectionnement de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation 1 ; 2 en plusieurs sections dites sections de travail 15 ; 25 qui sont virtuellement assimilables à des plans de coupe fictifs orientés dans différentes directions. Chacune des sections de travail 15 ; 25 comprend un ensemble de points géométriques (voir [Fig.5] lorsque l'élément d'articulation est un fémur) correspondant aux points définissant le contour de l'élément d'articulation (voir le schéma d'illustration [Fig.13] pour lequel est représenté le contour de la modélisation tridimensionnelle du tibia 2 dans une section de travail 25 ou 251), ou ligne de contour articulaire, modélisé selon la direction du plan dans lequel se propage ladite section de travail 15 ; 25.
- [0136] Etant contenue dans une section de travail, la ligne de contour présente un côté droit et un côté gauche respectivement délimités par une ligne de contour droit 12 ; 22 et une ligne de contour gauche 11 ; 21. L'une et l'autre des deux lignes de contour 11, 12 ; 21, 22 sont situées de part et d'autre d'un axe central 10 ; 20 traversant centralement la surface articulaire. Cet axe de symétrie correspond sensiblement à l'axe d'extension de l'élément articulaire, à savoir l'axe fémoral ou l'axe tibial.
- [0137] Selon des orientations particulières des sections de travail 15 ; 25, les lignes de contour droit 12 ; 22 et de contour gauche 11 ; 21 de la section de travail peuvent correspondre à une ligne de contour médial et une ligne de contour latéral de la surface de l'élément articulaire ; ou bien alors à une ligne de contour antérieure et une ligne de contour postérieure ; ou bien alors une ligne de contour intermédiaire entre médial et antérieur et une ligne de contour intermédiaire entre latéral et postérieur.
- [0138] Suite à la phase préparatoire, le procédé de construction met en œuvre la phase de suppression d'ostéophytes.
- [0139] Par définition, les ostéophytes 17 ; 27 sont des excroissances formant des aberrations dans la cinématique articulaire et altérant les dimensions natives des éléments d'articulation.
- [0140] Dans le cadre de l'invention, les images médicales servant au procédé de construction à construire la modélisation tridimensionnelle du fémur 1 et du tibia 2

sont prises avant une quelconque intervention chirurgicale, signifiant que si le fémur et/ou le tibia d'un patient présente un ou plusieurs ostéophytes 17 ; 27, celui-ci ou ceux-ci seront présent(s) dans les images numériques médicales, et sont donc représentés dans les modélisations tridimensionnelles des éléments d'articulation 1 ; 2 par un ensemble de points géométriques aberrants formant des zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14 ; Z21, Z22 ; dans le sens où ces zones n'étaient pas présentes nativement et se développent dans le temps, avec l'âge. Dans un fémur, les ostéophytes peuvent se former sur les extrémités médiale et latérale des condyles médial 161 et latéral 162 respectifs du fémur, ainsi qu'au niveau de la trochlée 163 ; dans un tibia, les ostéophytes peuvent se former au niveau du plateau tibial 270, sur les surfaces et les bords des comportements médial 271 et latéral 272.

- [0141] Etant donné que les ostéophytes 17 ; 27 constituent des points aberrants dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation 1 ; 2, ils peuvent conduire à une mauvaise évaluation/estimation des dimensions de la modélisation tridimensionnelle du composant articulaire 101 ; 102 (un exemple est présenté ultérieurement) ; et donc à la fabrication d'un composant articulaire 101 ; 102 physique surdimensionné dont l'encombrement prothétique sera inadapté au patient traité, induisant alors chez lui des douleurs et des difficultés à se mouvoir avec sa prothèse.
- [0142] C'est pourquoi cette phase de suppression d'ostéophytes est mise en œuvre dans le procédé de construction.
- [0143] La phase de suppression d'ostéophytes est appliquée à l'ensemble des sections de travail 15 ; 25 sectionnant les modélisations tridimensionnelles du fémur 1 et du tibia 2. En fonction de l'emplacement des ostéophytes 17 ; 27 sur la surface osseuse du fémur ou du tibia, et par extension de leur modélisation tridimensionnelle, les sections de travail 15 ; 25 peuvent présenter une ou plusieurs zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14 ; Z21, Z22, ou bien alors aucune. Dans le cas où la section de travail 15 ; 25 analysée ne présente aucun ostéophyte 17 ; 27, elle est laissée en l'état. Dans le cas où elle en présente, la ou les zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14 ; Z21, Z22 sont supprimées virtuellement afin de construire/obtenir une section de travail 15 ; 25 dite nettoyée qui sera plus proche de l'élément d'articulation natif selon le plan de coupe dans lequel se propage la section de travail 15 ; 25.
- [0144] Les sections de travail 15 ; 25 nettoyées sont ensuite exploitées dans les étapes suivantes pour modéliser la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation 1 ; 2..
- [0145] Suite à la phase de suppression d'ostéophytes, le procédé met en œuvre une étape d'obtention de variables géométriques dans les plusieurs sections de travail 15 ; 25 nettoyées, qui sont représentatives de la morphologie de l'élément d'articulation du patient avant formation des ostéophytes 17 ; 27.

- [0146] Les variables géométriques déterminées sont alors utilisées durant une étape de construction pour modéliser la modélisation tridimensionnelle du composant articulaire 101 ; 102 qui est finalement fabriqué physiquement à partir de celle-ci.
- [0147] La phase de suppression d'ostéophytes comprend plusieurs étapes mises en œuvre dans chaque section de travail 15 ; 25, et fondamentalement basées sur les pratiques des chirurgiens en bloc opératoire.
- [0148] Que l'élément d'articulation considéré soit un fémur ou un tibia, la première étape de la phase de suppression d'ostéophytes consiste en la recherche dans la section de travail 15 ; 25 analysée d'au moins une largeur qui est la plus étroite de l'os dans une zone dite zone de référence R1 ; R2 comprise entre un premier axe de référence X11 ; X21 et un second axe de référence X12 ; X22 qui sont parallèles et distants l'un de l'autre.
- [0149] La détermination de l'au moins une largeur la plus étroite dans la section de travail 15 ; 25 revient à localiser dans la zone de référence R1 ; R2 :
- un point de référence droit P12 ; P22 correspondant à un point le moins à droite sur la ligne de contour droit 12 ; 22 (autrement dit le point sur la ligne de contour droit 12 ; 22 qui est le plus proche de l'axe central 10 ; 20), et
 - un point de référence gauche P11 ; P21 correspondant à un point le moins à gauche sur la ligne de contour gauche 11 ; 21 (autrement dit le point sur la ligne de contour gauche 11 ; 21 qui est le plus proche de l'axe central 10 ; 20).
- [0150] Dans le cas où le point de référence droit P12 ; P22 et le point de référence gauche P11 ; P21 sont alignés selon un même axe parallèle aux deux axes de référence X11, X12 ; X21 ; X22 ; une seule largeur la plus étroite de l'élément d'articulation est considérée. Autrement, deux largeurs les plus étroites sont considérées.
- [0151] Suite à la détermination des deux points de références P11, P12 ; P21, P22 sont déterminées une ligne de coupe droite C12 ; C22 et une ligne de coupe gauche C11 ; C21 passant respectivement par le point de référence droit P12, P22 et le point de référence gauche P11 ; P21. Plus précisément, les lignes de coupes C11, C12 ; C21, C22 sont géométriquement des demi-droites ayant respectivement pour origines les points de références P11, P12 ; P21, P22.
- [0152] La dernière étape mise en œuvre est la suppression effective des ensembles de points considérés comme formant des zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14 ; Z21, Z22 représentatives d'ostéophytes 17 ; 27 avec :
- la détermination d'au moins deux zones aberrantes Z11, Z12 ; Z21, Z22 comprenant une zone aberrante droite Z12 ; Z22 et une zone aberrante gauche Z11 ; Z21, la zone aberrante droite Z12 ; Z22 étant située à droite par rapport à la ligne de coupe droite C12 ; C22 et la zone aberrante gauche Z11 ; Z21 étant située à gauche par rapport à la ligne de coupe gauche C11 ; C21 ; et

- la suppression de l'ensemble des points compris dans la zone aberrante droite Z12 ; Z22 et la zone aberrante gauche Z11 ; Z21.
- [0153] Dans chacune des sections de travail de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation 1 ; 2, les directions de coupes considérées en fonction de la forme de l'élément d'articulation se traduisent spatialement et géométriquement par des inclinaisons des lignes de coupe droite C12 ; C22 et gauche C11 ; C21 telles que la ligne de coupe droite C12 ; C22 et la ligne de coupe gauche C11 ; C21 forment respectivement un angle de dépouille droit A2 ; A6 et un angle de dépouille gauche A1 ; A5 par rapport à l'axe central 10 ; 20.
- [0154] Les zones aberrantes Z11, Z12 ; Z21, Z22 demeurent celles se trouvant respectivement à droite de la ligne de coupe droite C12 ; C22 et à gauche par rapport à la ligne de coupe gauche C11 ; C21. Les angle de dépouille droit A2 ; A6 et de dépouille gauche A1 ; A5 sont définis comme pouvant être compris entre 0 degré (signifiant que la suppression des ostéophytes est réalisée virtuellement selon une direction orthogonale aux axes de référence) et 30° degrés.
- [0155] Dans un mode de réalisation de l'invention, la phase de suppression d'ostéophytes se conclut optionnellement par une étape de lissage durant laquelle est appliquée dans la section de travail 15 ; 25 une fonction d'interpolation sur les points géométriques définissant la surface articulaire du fémur ou du tibia modélisé qui étaient spatialement proches voisins des points aberrants venant d'être supprimés, dans le but de créer/ajouter de nouveaux points géométriques tels qu'ils modélisent les parties reséquées de la surface articulaire.
- [0156] La suite de la description donne davantage de précision sur le sectionnement de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation 1 ; 2 et la phase de suppression d'ostéophytes selon que le composant articulaire 101 ; 102 à construire soit un composant fémoral 101 ou un composant tibial 102
- [0157] Dans le cas où doit être construit un composant fémoral 101, en référence à la [Fig.4], les sections de travail 15 sectionnant la modélisation tridimensionnelle du fémur 1 sont réparties autour de deux axes de révolution 153, 154 de direction médio-latérale : un axe de révolution antérieur 154 et un axe de révolution postérieur 153. Les axes de révolution antérieur 154 et postérieur 153 servent respectivement au sectionnement de la partie antérieure et de la partie postérieure de la modélisation tridimensionnelle du fémur 1. Chacune des sections de travail 15 autour de l'axe de révolution antérieur 154 (dites sections de travail antérieures 152) et de l'axe de révolution postérieur 153 (dites sections de travail postérieures 151) est distante des sections de travail 15 qui lui sont le plus proche antérieurement et postérieurement d'une distance angulaire. Cette distance angulaire est par exemple inférieure ou égale à 5 degrés, et en particulier comprise entre 1 et 3 degrés.

- [0158] Dans une variante de réalisation de l'invention, la distance angulaire antérieure, respectivement postérieure, séparant une section de travail antérieure 152, respectivement postérieure 154, de ses proches voisines est la même pour toutes les sections de travail antérieures 152, respectivement postérieures 151. Dans une autre variante de réalisation, la distance angulaire antérieure et la distance angulaire postérieure sont toutes deux inférieures ou égales à 5 degrés, et par exemple de l'ordre de 2 degrés.
- [0159] Les deux axes de révolution 153, 154 sont distants d'un entraxe 155 dont la valeur dépend de la taille fémorale. Par exemple, cet entraxe s'exprime sous la forme d'une fonction affine de la taille fémorale. L'entraxe 155 est confondu dans un plan sagittal qui s'étend orthogonalement aux axes de révolution antérieur 154 et postérieur 153.
- [0160] La [Fig.5] illustre un exemple de section de travail 15 comprenant un ensemble de points géométriques définissant la ligne de contour du fémur modélisé dans le plan de coup dans lequel se propage la section de travail 15, et présentant plusieurs groupes de points aberrants représentatifs d'ostéophytes 17. La ligne de contour du fémur suit le contour du condyle médial 161, de la trochlée 163 et du condyle latéral 162.
- [0161] Quelle que soit la section de travail (section de travail antérieure 152 ou postérieure 151), la ligne de contour droite 12 et la ligne de contour gauche 11 correspondent respectivement à une ligne de contour médial du condyle médial 161 et une ligne de contour latéral du condyle latéral 162 (soit des lignes définissant les contours/courbures externes des deux condyles 161, 162). Chaque point géométrique dans la section de travail 15 est défini par une coordonnée médio-latérale (axe des abscisses ML de direction médio-latérale) et par une coordonnée radiale (axe des ordonnées r de direction radiale).
- [0162] En référence à la [Fig.6], les zones aberrantes droite Z12 et gauche Z11 correspondent donc à des ostéophytes formés sur le bord médial du condyle médial 161 et sur le bord latéral du condyle latéral 162.
- [0163] Lors de la mise en œuvre de la phase de suppression des ostéophytes, le premier axe de référence X11 et le second axe de référence X12 sont déterminés à partir d'une ligne extrême 110 de direction médio-latérale passant par le point le plus distal 113 du condyle latéral 161, ou bien le point le plus distal 114 du condyle médial 162, ou bien les deux s'ils sont alignés médio-latéralement. Le premier axe de référence X11 est déterminé comme étant distant de ladite ligne extrême X10 d'une première distance de référence d11, le second axe de référence X12 est déterminé comme étant distant dudit premier axe de référence X11 d'une seconde distance de référence d12. La première distance d11 de référence est généralement de l'ordre de 8 mm, et la seconde distance de référence d12 est généralement comprise entre 6 mm et 10 mm, par exemple 8 mm.
- [0164] Sont identifiés alors dans la zone de référence R1 comprise entre les deux axes de référence X11, X12 le point de référence droit P12 et le point de référence gauche P11

qui correspondent respectivement au point le moins latéral du condyle latéral 162 (soit de la ligne de contour latéral/droite 12) et au point le point le moins médial du condyle médial 161 (soit de la ligne de contour médial/gauche 11) ; et par lesquelles passent une ligne de coupe droite C12, c'est-à-dire une ligne de coupe latérale, et une ligne de coupe gauche C11, c'est-à-dire une ligne de coupe médiale.

- [0165] Les angles de dépouilles droit A2 et gauche A1 formés par respectivement par l'inclinaison des lignes de coupe droite C12 et gauche C11 par rapport à l'axe central 10 correspondent à un angle de dépouille latérale fémoral et à un angle de dépouille médiale fémoral.
- [0166] Comme illustré [Fig.6], l'angle de dépouille latérale fémoral A2 est défini tel que la ligne de coupe droite C12 (latérale) s'incline dans une direction médiale par rapport à l'axe central 10 ; et l'angle de dépouille médiale fémoral A1 est défini tel que la ligne de coupe gauche C11 (médiale) s'incline dans une direction latérale par rapport à l'axe central 10.
- [0167] Les groupes de points formant les zones aberrantes Z11, Z12 et qui sont supprimés sont situés sur la ligne de contour du fémur médialement par rapport à la ligne de coupe gauche C11 (médiale) et latéralement par rapport à la ligne de coupe droite C12 (latérale).
- [0168] Comme précédemment indiqué, les angles de dépouille droit A2 (soit l'angle de dépouille latérale fémoral) et gauche A1 (soit l'angle de dépouille médiale fémoral) peuvent tous deux être compris entre 0° et 30°.
- [0169] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille latérale fémoral A2 est le même pour les sections de travail postérieures 152 et pour les sections de travail antérieures 151.
- [0170] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille médiale fémoral A1 est différent entre les sections de travail postérieures 152 et les sections de travail antérieures 151.
- [0171] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, les angles de dépouille médiale A1 et latérale fémoral A2 sont respectivement égaux à 25 degrés et 15 degrés lorsque la section de travail 15 est une section de travail postérieure 151 ; et sont tous deux égaux à 15 degrés lorsqu'il s'agit d'une section de travail antérieure 152.
- [0172] Dans le cas de la construction d'un composant fémoral 101, la phase de suppression d'ostéophytes comprend également des étapes pour supprimer des ostéophytes 17 ayant pu se former dans l'échancrure/la trochlée 163 du fémur. En référence aux Figures 5 et 6, un ostéophyte 17 s'est formé au niveau du bord latéral du condyle médial 161, soit au niveau du bord médial de la trochlée 163.
- [0173] Les étapes de suppression d'ostéophytes dans la trochlée 163 sont similaires à celles réalisées pour la suppression des ostéophytes 17 au niveau du bord médial du condyle

médial (zone aberrante gauche Z11) et niveau du bord latéral du condyle latéral (zone aberrante droite Z12).

- [0174] En référence à la [Fig.7], les bords médial et latéral de la trochlée 163 sont considérés comme compris respectivement dans une ligne intérieure médiale 13 et une ligne intérieure latérale 14 positionnée l'une l'autre de part et d'autre de l'axe central 10 précédemment défini.
- [0175] Les étapes de suppression d'ostéophytes dans la trochlée 163 débutent avec la recherche, dans la zone de référence R1 précédemment déterminée, de la ou des distances d'écartement de direction médio-latérale les plus grandes entre la ligne intérieure médiale 13 la une ligne intérieure latérale 14. Ainsi sont recherchés un point de référence intérieur médial P13 et un point de référence intérieur latéral P14, tel que le point de référence intérieur médial P13 correspond au point le moins médial sur la ligne intérieure médiale 13 et le point de référence intérieur latéral P14 correspond au point le moins latéral sur la ligne intérieure latérale 14.
- [0176] A partir du point de référence intérieur médial P13 et du point de référence intérieur latéral P14 sont déterminées une ligne de coupe intérieure médiale C13 passant par le point de référence intérieur médial P13 et une ligne une ligne de coupe intérieure latérale C14 passant par le point de référence intérieur latéral P14, lesquelles lignes de coupes intérieure médiale C13 et intérieure latérale C14 présentent respectivement un angle de dépouille intérieure médiale A3 et un angle de dépouille intérieure latérale A4 par rapport à l'axe central 10. Comme les lignes de coupe droite C12 ; C22 et gauche C11 ; C12, les lignes de coupe intérieure médiale C13 et intérieure latérale C14 sont géométriquement des demi-droite ayant pour origine le point de référence intérieur médial P13 et le point de référence intérieur latéral P14.
- [0177] L'angle de dépouille intérieure médiale A3 est défini tel que la ligne de coupe intérieure médiale C13 s'incline dans une direction médiale par rapport à l'axe central 10 ; et l'angle de dépouille intérieure latérale A4 est défini tel que la ligne de coupe intérieure latérale C14 s'incline dans une direction latérale par rapport à l'axe central 10.
- [0178] Les zones aberrantes Z13, Z14 représentatives d'ostéophytes 17 s'étant formés dans la trochlée 163, et qui sont supprimées, comprennent une zone aberrante intérieure médiale Z13 et à une zone aberrante intérieure latérale Z14.
- [0179] La zone aberrante intérieure médiale Z13 comprend l'ensemble des points géométriques situés latéralement par rapport à la ligne de coupe intérieure médiale C13, et la zone aberrante intérieure latérale Z14 comprend l'ensemble des points géométriques situés médialement par rapport à la ligne de coupe intérieure latérale C14.
- [0180] Les valeurs des angles de dépouille intérieure médiale A3 et de de dépouille intérieure médiale A4 sont toutes deux comprises entre 0° et 30°
- [0181] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille intérieure latérale

A4 est le même pour les sections de travail postérieures 151 et pour les sections de travail antérieures 152.

[0182] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille intérieure médiale A3 est différent entre les sections de travail postérieures 151 et les sections de travail antérieures 152.

[0183] Dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, les angles de dépouille intérieure médiale A3 et intérieure latérale fémoral A4 sont respectivement égaux à 25 degrés et 15 degrés lorsque la section de travail 15 est une section de travail postérieure 151 ; et sont tous deux égaux à 15 degrés lorsqu'il s'agit d'une section de travail antérieure 152. Autrement dit, les angles de dépouille intérieure médiale A3 et intérieure latérale fémoral A4 prennent respectivement les mêmes valeurs que les angles de dépouille médiale A1 et latérale fémoral A2.

[0184] Dans une première variante de réalisation de l'invention, le procédé de construction réalise dans la section de travail 15 considérée les étapes pour la suppression des ostéophytes 17 s'étant éventuellement formés sur les bords externes des condyles 161, 162 avant de procéder à la suppression de ceux s'étant éventuellement formés dans la trochlée 163.

[0185] Dans une seconde variante de réalisation de l'invention, le procédé de construction supprime cette fois les éventuels ostéophytes présents au niveau de la trochlée 163 avant ceux s'étant formés éventuellement au niveau des bords externes des condyles 161, 162. Dans cette variante de réalisation, la détermination des premier et second axes de référence X11, X12 est de fait réalisée avant l'étape de détermination dans la section de travail 15 du point de référence intérieur médial P13 et du point de référence intérieur latéral P14, et n'est donc pas réitérée comme indiqué jusqu'ici avant l'étape de détermination du point de référence droite P12 et du point de référence gauche P11.

[0186] Dans une troisième variante de réalisation de l'invention, suite à la détermination des premier et second axes de référence X11, X12, le procédé exécute simultanément les étapes restantes pour la suppression d'ostéophytes au niveau des bords externes des condyles 161, 162 et de la trochlée 163.

[0187] La [Fig.8] montre la ligne de contour du fémur modélisé dans la section de travail 15 considérée dans les Figures 5 à [Fig.7] après application :

- de la phase de suppression des zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14 ; et
- de l'étape de lissage précédemment décrite.

[0188] La [Fig.9] montre une comparaison, pour la section de travail 15 considéré jusqu'ici, entre la ligne de contour du fémur avant réalisation de la phase de suppression d'ostéophytes (figure du haut, en référence à la [Fig.5]) et une fois qu'elle a été nettoyée (figure du bas, en référence à la [Fig.8]) avec l'ensemble des zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14 supprimées.

- [0189] Comme indiqué précédemment, suite à la phase de suppression d'ostéophytes, le procédé met en œuvre une étape d'obtention de variables géométriques consistant à déterminer dans les sections de travail 15 ; 25 nettoyées des variables géométriques permettant la construction de la modélisation tridimensionnelle du composant articulaire 10 ; 102.
- [0190] Dans le cas d'un fémur, les variables géométriques recherchées dans la section de travail 15 comprennent la détermination, sur le premier axe de référence X11, de l'abscisse du point le plus médial du condyle médial 161 et l'abscisse du point le plus latéral du condyle latéral 162. Ces deux abscisses permettent de déterminer une largeur médio-latérale MLD1 ; MLD2 du fémur.
- [0191] Dans la section de travail 15 considérée, lorsque la phase de suppression d'ostéophytes n'est pas appliquée, la largeur médio-latérale MLD1 ; MLD2 est égale à une largeur médio-latérale MLD1 de 74 mm. Lorsqu'elle est appliquée, la largeur médio-latérale MLD1 ; MLD2 est égale à une largeur médio-latérale MLD2 de 68,5 mm. Ainsi, l'erreur de précision faite dans l'estimation de la largeur médio-latérale MLD1 ; MLD2 lorsque les ostéophytes ne sont pas supprimés est d'environ 8%. Cette erreur de précision peut éventuellement être plus importante selon les dimensions des zones aberrantes Z11, Z12, Z13, Z14. Ainsi, cet exemple démontre que conserver les zones Z11, Z12, Z13, Z14 sur la ligne de contour du fémur modélisé dans l'ensemble des sections de travail peut conduire à des erreurs plus ou moins importantes dans la détermination des variables géométriques et l'estimation des dimensions de la modélisation tridimensionnelle du composant fémoral 101.
- [0192] A noter qu'en plus des variables géométriques, une modélisation tridimensionnelle d'un gabarit de coupe fémoral peut également être utilisé afin de modéliser tridimensionnellement le composant fémoral 101. Ce gabarit de coupe fémoral est modélisé au cours d'une étape supplémentaire de la phase préparatoire à partir des points remarquables 110, 111, 112, 113, 114 identifiés sur la modélisation tridimensionnelle du fémur 1, notamment les points les plus postérieurs 111, 112 et les points les plus distaux des condyles médial 161 et latéral 162.
- [0193] Dans la pratique, le gabarit de coupe fémoral est utilisé par le chirurgien, qui l'applique à la surface osseuse du fémur, pour réaliser des coupes osseuses et définir des pans d'appui qui servent à la pose du composant fémoral 101. Le gabarit de coupe fémoral présente la même forme/la même courbure que la face interne du composant fémoral 101 qui est appliquée et maintenue sur la surface du fémur distal du patient.
- [0194] A noter que le premier axe de référence X11 se rapporte physiquement à une ligne de coupe de direction médio-latérale dans un plan de coupe pour laquelle toute partie osseuse de la surface articulaire située distalement par rapport à cette ligne de coupe médio-latérale est reséquée. Ainsi, le premier axe de référence X11 correspond dans la

- modélisation tridimensionnelle du fémur aux pans d'appui du composant fémoral
- [0195] La suite de la description donne davantage de précision sur les phases préparatoire et de suppression d'ostéophytes dans le cadre de la construction d'un composant tibial 102.
- [0196] Lors de la phase préparatoire est déterminé à partir de la modélisation tridimensionnelle du fémur un plan de résection tibiale RP qui est distant, selon une direction proximo-distale du tibia, soit du point le plus antérieur 211 du compartiment médial 271 d'une première distance d211 donnée si le genou du patient présente une déformation du type genu varum, soit du point le plus antérieur 212 du compartiment latéral 272 d'une seconde distance d212 donnée si le genou présente une déformation du type genu valgum.
- [0197] Dans un mode de réalisation préférence de l'invention, la première distance d211 est égale à 6 mm, et la seconde distance d212 est égale à 10 mm. Ces deux valeurs sont conformes aux pratiques des chirurgiens dans la résection de la partie proximale d'un tibia et de la pose d'un composant tibial 102.
- [0198] Selon différents modes de réalisation de l'invention :
- le plan de résection tibiale RP est un plan horizontal, ou bien
 - est un plan présentant une pente postérieure non nulle et inférieure ou égale à 15 degrés, par exemple une pente postérieure de 3 degrés ; et/ou un varus valgus non nul et inférieur ou égal à 5 degrés, par exemple un varus valgus de 3 degrés.
- [0199] L'invention propose pour l'étape de la modélisation tridimensionnelle du tibia 2 en une pluralité de sections de travail 25 deux méthodes de sectionnement. Dans différents modes de réalisation de l'invention, l'outil de conception 3D peut proposer l'une ou l'autre de ces deux méthodes, ou alors proposer à l'utilisateur les deux.
- [0200] En référence à la [Fig.11]-a, La première méthode de sectionnement consiste à sectionner la modélisation tridimensionnelle du tibia 2 en une pluralité de sections de travail 25 formées de sections sagittales 251 qui sont : parallèles entre elles et distantes les unes des autres d'une distance de séparation prédéterminée ; et toutes orthogonales soit à une direction médio-latérale ou bien alors à une direction antéro-postérieure.
- [0201] En référence à la [Fig.12], l'orientation des sections sagittales 251 est définie conformément à une ligne dite ligne d'Akagi AL qui est perpendiculaire à la projection de l'axe transépicondylien fémoral TEAP, qui relie le bord médial de la tubérosité tibiale antérieure 7 et l'insertion du ligament croisé postérieur 8.
- [0202] Dans un mode de réalisation de l'invention, le bord médial de tubérosité tibiale antérieure 7 est déterminé par le procédé de construction lors de la phase préparatoire en déterminant :
- la hauteur de la tubérosité tibiale antérieure 7, qui est obtenue en recherchant dans la modélisation tridimensionnelle du tibia 2 son point le plus antérieur compris entre

20 mm et 50 mm sous les sulcus tibiaux,

- le point le plus antérieur de la tubérosité tibiale antérieure 7 à la hauteur précédemment déterminée, et
- le point le plus médial à l'épaisseur de la tubérosité tibiale antérieure 7.

[0203] La seconde méthode de sectionnement consiste quant à elle à sectionner la modalisation tridimensionnelle du fémur 2 en une pluralité de sections de travail 25 formées de sections 252 réparties autour d'un ou plusieurs axes de révolution AX0, AX1, AX2 de direction proximo-distale. En référence à la [Fig.11]-b, les sections de travail 252 sont réparties autour d'un axe central AX0, d'un axe de révolution médial AX1 et d'un axe de révolution latéral AX2 situés respectivement médialement et latéralement dans la modalisation tridimensionnelle du tibia 2. Par conséquent, les sections de travail 252 présentent une pluralité de directions. Dans des directions particulières, les sections de travail 252 se propagent médio-latéralement ou antéro-postérieurement.

[0204] Lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour la première méthode de sectionnement, selon la direction avec laquelle toutes les sections sagittales 251 sont orthogonales :

- les lignes de contour droit 22 et de contour gauche 21 peuvent correspondre soit à une ligne de contour médial et une ligne de contour latéral de la surface articulaire du tibia ; ou bien alors à une ligne de contour antérieur et une ligne de contour postérieur ;
- les points de référence droit P22 et gauche P21 peuvent correspondre, dans la zone de référence R2, soit au point le moins médial de la surface médiale du tibia et au moins le moins latéral de la surface latérale ; ou bien alors au point le moins antérieur de la surface antérieure de l'os modélisé et au point le moins le moins postérieur de la surface postérieure ;
- les lignes de coupe droite C22 et gauche C21 peuvent correspondre soit à une ligne de coupe médiale et une ligne de coupe latérale ; ou bien à une ligne de coupe antérieure et une ligne de coupe postérieure ;
- et les angles de dépouille droit A6 et gauche A5 peuvent correspondre soit à des angles de dépouille médiale et latérale, soit à des angles de dépouille antérieure et postérieure ;

cela dans le but de supprimer au moins une zone aberrante droite Z22 et/ou une zone aberrante gauche Z21 qui correspondent respectivement soit à une zone aberrante médiale et une zone aberrante latérale de la surface articulaire tibiale ; ou bien alors à une zone aberrante antérieure et une zone aberrante postérieure.

[0205] Ces correspondances sont également retrouvées dans la seconde méthode de sectionnement à la condition que les sections de travail 252 considérées se propagent dans les directions particulières.

[0206] Un exemple schématique de section sagittale 251 orthogonale à la direction antéro-

postérieure du tibia est illustré [Fig.13]. Pour les sections sagittales 251 orthogonales à cette direction, le côté droit et le côté gauche de la ligne de contour du tibia modélisé représentent donc respectivement son côté latéral et son côté médial de celui-ci est illustré [Fig.13].

- [0207] Le premier axe de référence X21 est déterminé comme étant l'intersection entre la section de travail 25 et le plan de résection tibial RP. Dans le cas d'une section sagittale orthogonale à la direction antéro-postérieure du tibia, le premier axe de référence est confondu avec le plan de résection tibial RP. Le second axe de référence X22 est quant à lui déterminé comme étant parallèle et distant d'une distance de référence d22 du premier axe de référence X21 selon l'axe central 20. Dans le mode de réalisation préférentiel de l'invention, la distance de référence d22 est égale à 6 mm.
- [0208] Les anges de dépouille droit A6 et de dépouille gauche A5 sont définis comme étant compris entre zéro degré et 30 degrés et tels que dans la section de travail 25, par rapport à l'axe central 20 :
- la ligne de coupe gauche C21 est inclinée vers la droite de l'angle de dépouille gauche, et
 - la ligne de coupe droite C22 est inclinée vers la gauche de l'angle de dépouille droit A6.
- [0209] Dans un premier mode de réalisation de l'invention, l'angle de dépouille droit A6 et l'angle de dépouille gauche A5 sont identiques pour chacune des sections de travail.
- [0210] Dans le mode de réalisation préférentiel de l'invention, les deux angles de dépouilles A5, A6 sont égaux et nuls ; signifiant que les lignes de coupe droite C22 et gauche C21 s'étendent parallèlement à l'axe central 20.
- [0211] La [Fig.14] illustre schématiquement la ligne de contour du fémur considérée dans la section sagittale 251 de la [Fig.13] après application de la phase de suppression d'ostéophytes pour des angles de dépouilles A5, A6 nuls.
- [0212] Une fois l'ensemble des sections de travail 25 nettoyées, des variables géométriques sont identifiées dans chacune d'entre elles pour modéliser tridimensionnellement le composant tibial 102.
- [0213] A noter qu'en pratique, toute la partie osseuse qui est proximale au plan de résection RP est réséquée par le chirurgien. La surface osseuse du tibia présente alors au niveau du plan de résection RP un plateau tibial 270 sensiblement horizontal sur lequel va être posé le composant tibial 102.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de construction d'au moins un composant articulaire (101 ; 102), de type composant fémoral (101) ou composant tibial (102), pour une prothèse totale du genou (100), ledit composant articulaire (101 ; 102) étant conformé pour être posé sur un élément d'articulation de type fémur ou tibia, dans lequel ledit procédé de construction comprend une phase préparatoire mettant en œuvre au moins les étapes suivantes :

- obtention d'un jeu d'images numériques médicales de l'élément d'articulation d'un patient ;
- construction d'une modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2) à partir du jeu d'images numériques médicales associé ;
- sectionnement de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2) en plusieurs sections de travail (15 ; 25) réparties dans différents plans, chaque section de travail (15 ; 25) étant définie par un ensemble de points géométriques ;

dans lequel le procédé de construction comprend une phase de suppression d'ostéophytes appliquée à chaque section de travail (15 ; 25) parmi les plusieurs sections de travail (15 ; 25) afin de construire une pluralité de sections de travail (15 ; 25) nettoyées, ladite phase de suppression d'ostéophytes comprenant les étapes suivantes :

- détermination dans la section de travail (15 ; 25) d'au moins une zone aberrante (Z11, Z12 ; Z21, Z22) représentative d'un ostéophyte (17 ; 27) ;
- construction de la section de travail (15 ; 25) nettoyée associée à la section de travail (15 ; 25), ladite section de travail (15 ; 25) nettoyée correspondant à la section de travail (15 ; 25) dans laquelle est supprimée l'au moins une zone aberrante (Z11, Z12 ; Z21, Z22) ;

et dans lequel le procédé de construction comprend une étape d'obtention de variables géométriques représentatives d'une géométrie de la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2) dans les plusieurs sections de travail (15 ; 25) nettoyées ;

ledit procédé de construction comprenant ensuite une étape de construction de l'au moins un composant articulaire (101 ; 102) à partir de valeurs des variables géométriques.

[Revendication 2]

Procédé de construction selon la revendication 1, dans lequel chaque section de travail (15 ; 25) est délimitée par une ligne de contour ar-

ticulaire prolongée à droite et à gauche par respectivement une ligne de contour droit (12 ; 22) et une ligne de contour gauche (11 ; 21), la ligne de contour droit (12 ; 22) et la ligne de contour gauche (11 ; 21) étant disposées de part et d'autre d'un axe central (10 ; 20) contenu dans ladite section de travail (15 ; 25),

et dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (15 ; 25), sont mises en œuvre les étapes suivantes :

- détermination dans la section de travail (15 ; 25) d'une zone de référence (R1 ; R2) encadrée par un premier axe de référence (X11 ; X21) et un second axe de référence (X12 ; X22) qui sont parallèles et distants l'un de l'autre ;
- détermination dans la section de travail (15 ; 25) d'un point de référence droit (P12 ; P22) et d'un point de référence gauche (P11 ; P21), ledit point de référence droit (P12 ; P22) correspondant à un point le moins à droite sur la ligne de contour droit (12 ; 22) et contenu dans la zone de référence (R1 ; R2) et ledit point de référence gauche (P11 ; P21) correspondant à un point le moins à gauche sur la ligne de contour gauche (11 ; 21) et contenu dans la zone de référence (R1 ; R2) ;
- détermination d'une ligne de coupe droite (C12 ; C22) et d'une ligne de coupe gauche (C11 ; C21) dans la section de travail (15 ; 25), ladite ligne de coupe droite (C12 ; C22) passant par le point de référence droit (P12 ; P22) et ladite ligne de coupe gauche (C11 ; C21) passant par le point de référence gauche (P11 ; P21) ;
- détermination dans la section de travail (15 ; 25) d'au moins deux zones aberrantes (Z11, Z12 ; Z21, Z22) comprenant une zone aberrante droite (Z12 ; Z22) et une zone aberrante gauche (Z11 ; Z21), la zone aberrante droite (Z12 ; Z22) étant située à droite par rapport à la ligne de coupe droite (C12 ; C22) et la zone aberrante gauche (Z11 ; Z21) étant située à gauche par rapport à la ligne de coupe gauche (C11 ; C21).

[Revendication 3]

Procédé de construction selon la revendication 2, dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (15 ; 25), la ligne de coupe droite (C12 ; C22) et la ligne de coupe gauche (C11 ; C21) présentent respectivement un angle de dépouille droit (A2 ; A6) et un angle de dépouille gauche (A1 ; A5) par rapport à l'axe central (10 ; 20), ledit angle de dépouille droit (A2 ; A6) et ledit angle de dépouille gauche (A1 ; A5) étant compris entre 0 et 30 degrés.

[Revendication 4]

Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications 1 à

- 3, dans lequel la phase préparatoire comprend une détermination de données morphométriques dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2), lesdites données morphométriques caractérisant une taille de l'élément d'articulation.
- [Revendication 5] Procédé de construction selon la revendication 4, dans lequel les données morphométriques comprennent au moins des points remarquables (110, 111, 112, 113, 114 ; 211, 212) localisés dans la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2).
- [Revendication 6] Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le composant articulaire (101 ; 102) est de type composant fémoral (101), l'élément d'articulation est de type fémur et la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2) correspond à une modélisation tridimensionnelle du fémur (1), telles que ladite modélisation tridimensionnelle du fémur (1) comprend au moins une modélisation tridimensionnelle d'un condyle latéral (162), d'un condyle médial (161) et d'une trochlée (163).
- [Revendication 7] Procédé de construction selon les revendications 5 et 6, dans lequel les points remarquables (110, 111, 112, 113, 114 ; 211, 212) comprennent au moins un point le plus postérieur (111) du condyle médial (161), un point le plus postérieur (112) du condyle latéral (162) et un point le plus antérieur (110) d'une partie de fémur distal.
- [Revendication 8] Procédé de construction selon la revendication 6 ou 7, dans lequel les plusieurs sections de travail (15) comprennent des sections de travail postérieures (151) réparties dans différents plans autour d'un axe de révolution postérieur (153) de direction médio-latérale, et des sections de travail antérieures (152) réparties dans différents plans autour d'un axe de révolution antérieur (154) de direction médio-latérale et décalé d'un entraxe (155) donné avec l'axe de révolution postérieur (153) le long d'un axe de fémur (156) de direction proximo-distale.
- [Revendication 9] Procédé de construction selon les revendications 2 et 8, dans lequel, dans chaque section de travail, la ligne de contour articulaire suit un contour du condyle latéral (162), du condyle médial (161) et de la trochlée (163), et la ligne de contour droite (12 ; 22) et la ligne de contour gauche (11 ; 21) correspondent respectivement à une ligne de contour médial (11) du condyle médial (161) et une ligne de contour latéral (12) du condyle latéral (162).
- [Revendication 10] Procédé de construction selon les revendications 3 et 9, dans lequel l'angle de dépouille droit (A2 ; A6) et l'angle de dépouille gauche (A1 ;

- A5) correspondent respectivement à un angle de dépouille latérale fémoral (A2) et à un angle de dépouille médiale fémoral (A1) qui sont non nuls pour chacune des sections de travail (15).
- [Revendication 11] Procédé de construction selon la revendication 10 dans lequel l'angle de dépouille latérale fémoral (A2) est le même pour les sections de travail postérieures (151) et pour les sections de travail antérieures (152).
- [Revendication 12] Procédé de construction selon la revendication 10 ou 11, dans lequel l'angle de dépouille médiale fémoral (A1) est différent entre les sections de travail postérieures (151) et les sections de travail antérieures (152).
- [Revendication 13] Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (15), est déterminée une ligne extrême (X10) de direction médio-latérale passant par un point le plus distal (113, 114) du condyle latéral (162) ou du condyle médial (161), et le premier axe de référence (X11) est déterminé comme étant distant de ladite ligne extrême (X10) d'une première distance de référence (d11), le second axe de référence (X12) est déterminé comme étant distant dudit premier axe de référence (X11) d'une seconde distance de référence (d12).
- [Revendication 14] Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (15), sont mises en œuvre les étapes suivantes :
- détermination d'une ligne intérieure médiale (13) de la trochlée (163) et d'une ligne intérieure latérale (14) de la trochlée (163), disposées de part et d'autre de l'axe central (10) ;
 - détermination dans la section de travail (15) d'au moins deux zones aberrantes (Z13, Z14) comprenant une zone aberrante intérieure médiale (Z13) et une zone aberrante intérieure latérale (Z14), la zone aberrante intérieure médiale (Z13) étant située latéralement par rapport à ladite ligne intérieure médiale (13) et la zone aberrante intérieure latérale (Z14) étant située médialement par rapport à la ligne intérieure latérale (14).
- [Revendication 15] Procédé de construction selon la revendication 14, dans lequel la détermination de la zone aberrante intérieure médiale (Z13) et de la zone aberrante intérieure latérale (Z14) comprend pour chaque section de travail (15) :
- détermination dans la section de travail (15) d'un point de référence intérieur médial (P13) et d'un point de référence intérieur latéral (P14), ledit point de référence intérieur médial (P13) correspondant à un point

le moins médial sur la ligne intérieure médiale (13) et contenu dans la zone de référence (R1), et ledit point de référence intérieur latéral (P14) correspondant à un point le moins latéral sur la ligne intérieure latérale (14) et contenu dans la zone de référence (R1) ;

- détermination d'une ligne de coupe intérieure médiale (C13) et d'une ligne de coupe intérieure latérale (C14) dans la section de travail (15), ladite ligne de coupe intérieure médiale (C13) passant par le point de référence intérieur médial (P13) et ladite ligne de coupe intérieure latérale (C14) passant par le point de référence intérieur latéral (P14).

[Revendication 16] Procédé de construction selon la revendication 15, dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (15), la ligne de coupe intérieure médiale (C13) et la ligne de coupe intérieure latérale (C14) présentent respectivement un angle de dépouille intérieure médiale (A3) et un angle de dépouille intérieure latérale (A4) par rapport à l'axe central (10), ledit angle de dépouille intérieure médiale (A3) et ledit angle de dépouille intérieure latérale (A4) étant compris entre 0 et 30 degrés.

[Revendication 17] Procédé de construction selon la revendication 16, dans lequel l'angle de dépouille intérieure latérale (A4) est le même pour les sections de travail postérieures (151) et pour les sections de travail antérieures (152).

[Revendication 18] Procédé de construction selon la revendication 16 ou 17, dans lequel l'angle de dépouille intérieure médiale (A3) est différent entre les sections de travail postérieures (151) et les sections de travail antérieures (152).

[Revendication 19] Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le composant articulaire (101 ; 102) est de type composant tibial (102), l'élément d'articulation est de type tibia et la modélisation tridimensionnelle de l'élément d'articulation (1 ; 2) correspond à une modélisation tridimensionnelle du tibia (2), telles que ladite modélisation tridimensionnelle du tibia (2) comprend au moins une modélisation tridimensionnelle d'un plateau tibial (270), d'un compartiment médial (271) et d'un compartiment latéral (272).

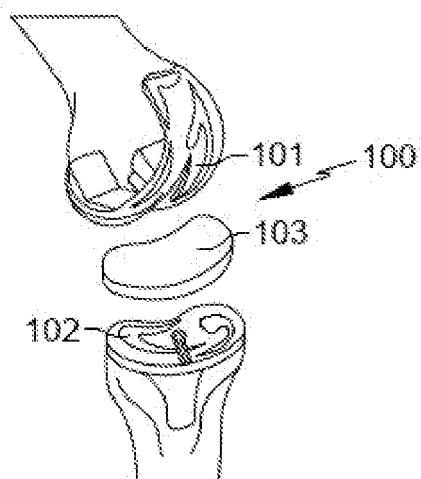
[Revendication 20] Procédé de construction selon les revendications 5 et 19, dans lequel les points remarquables (110, 111, 112 ; 211, 212) comprennent au moins un point le plus antérieur (211) du compartiment médial (271) ou un point le plus antérieur (212) du compartiment latéral (272).

[Revendication 21] Procédé de construction selon la revendication 20, dans lequel la phase

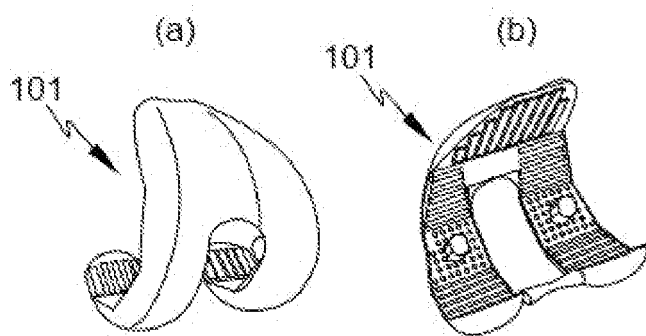
préparatoire comprend la détermination d'un plan de résection tibiale (RP) qui est distant, selon une direction proximo-distale du tibia, soit du point le plus antérieur (211) du compartiment médial (271) d'une première distance (d211) donnée, soit du point le plus antérieur (212) du compartiment latéral (272) d'une seconde distance (d212) donnée.

- [Revendication 22] Procédé de construction selon les revendications 2 et 21, dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (25), le premier axe de référence (X21) est déterminé comme correspondant à l'intersection entre la section de travail (25) et le plan de résection tibiale (RP), et le second axe de référence (X22) est déterminé comme étant distant dudit premier axe de référence (X21) d'une distance de référence (d22) selon l'axe central (20).
- [Revendication 23] Procédé de construction selon les revendications 3 et 22, dans lequel, lors de la phase de suppression d'ostéophytes, pour chaque section de travail (25), l'angle de dépouille droit (A6) et l'angle de dépouille gauche (A5) sont identiques pour chacune des sections de travail.
- [Revendication 24] Procédé de construction selon la revendication 23, dans lequel pour chaque section de travail (25), l'angle de dépouille droit (A6) et l'angle de dépouille gauche (A5) sont nuls.
- [Revendication 25] Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications 19 à 24, dans lequel les plusieurs sections de travail (25) sont soit :
- des sections sagittales (251) parallèles entre elles et toutes orthogonales à une direction médio-latérale ou une direction antéro-postérieure ; ou
 - des sections (252) réparties dans différents plans autour d'un ou plusieurs axes de révolution (AX0, AX1, AX2) de direction proximo-distale.
- [Revendication 26] Procédé de construction selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le jeu d'images numériques médicales comprend des images issues d'un scanner médical, par exemple au format DICOM.

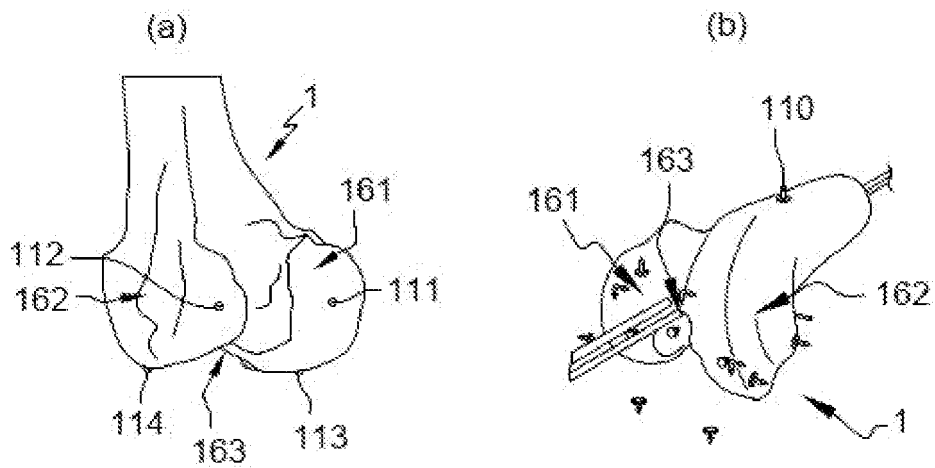
[Fig. 1]



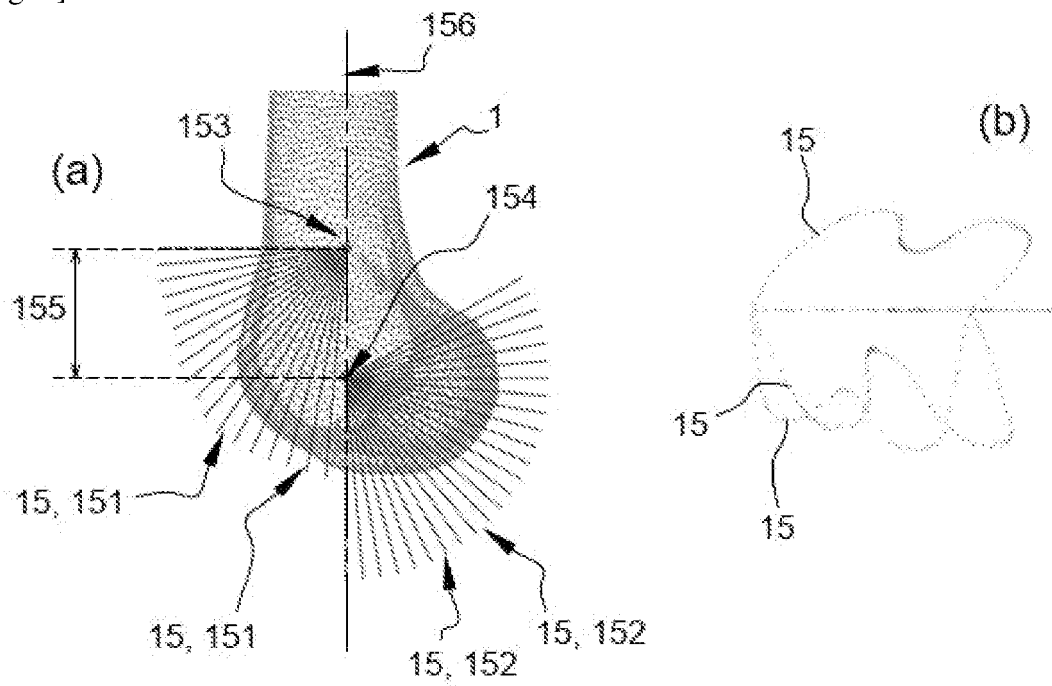
[Fig. 2]



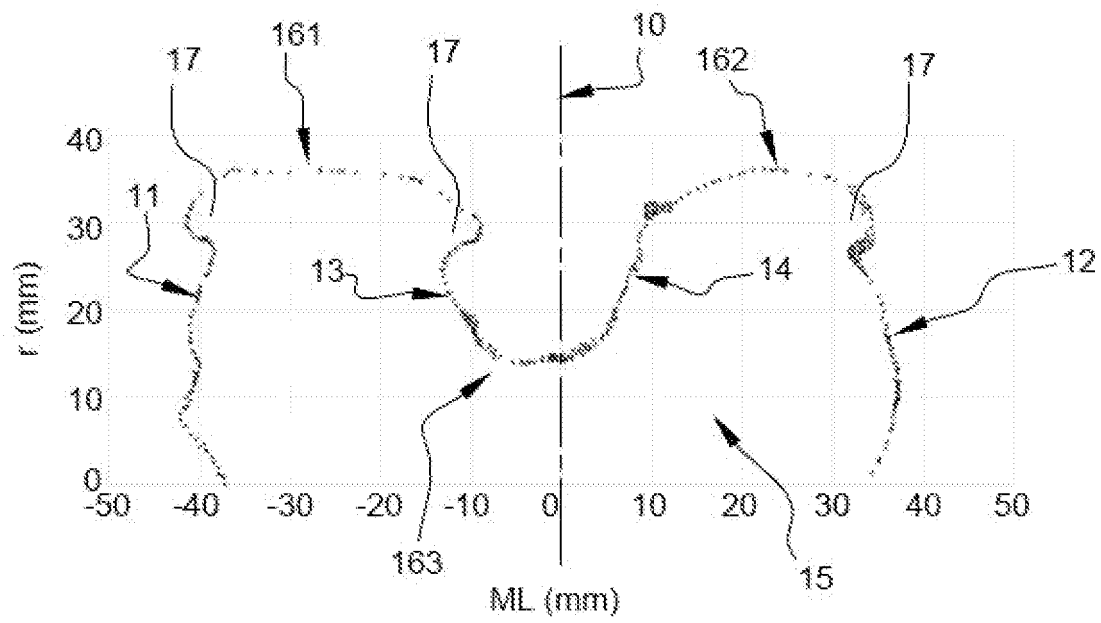
[Fig. 3]



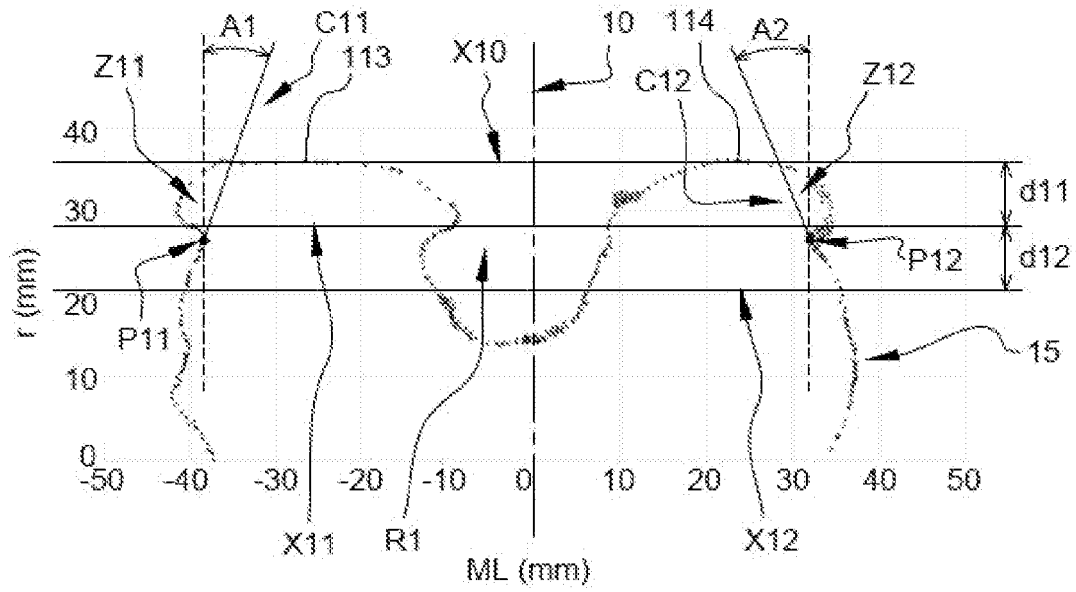
[Fig. 4]



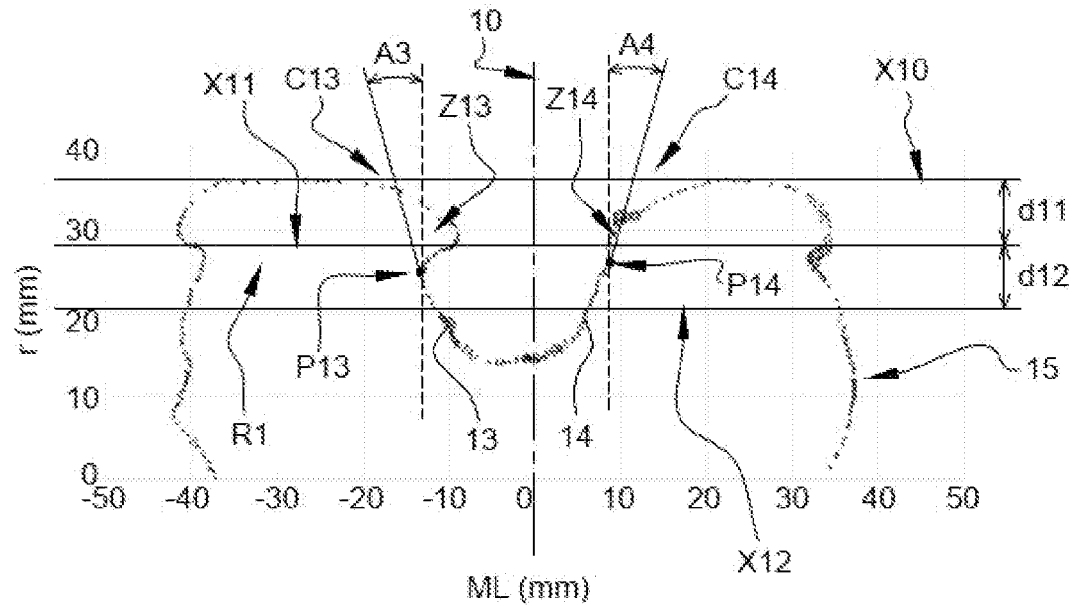
[Fig. 5]



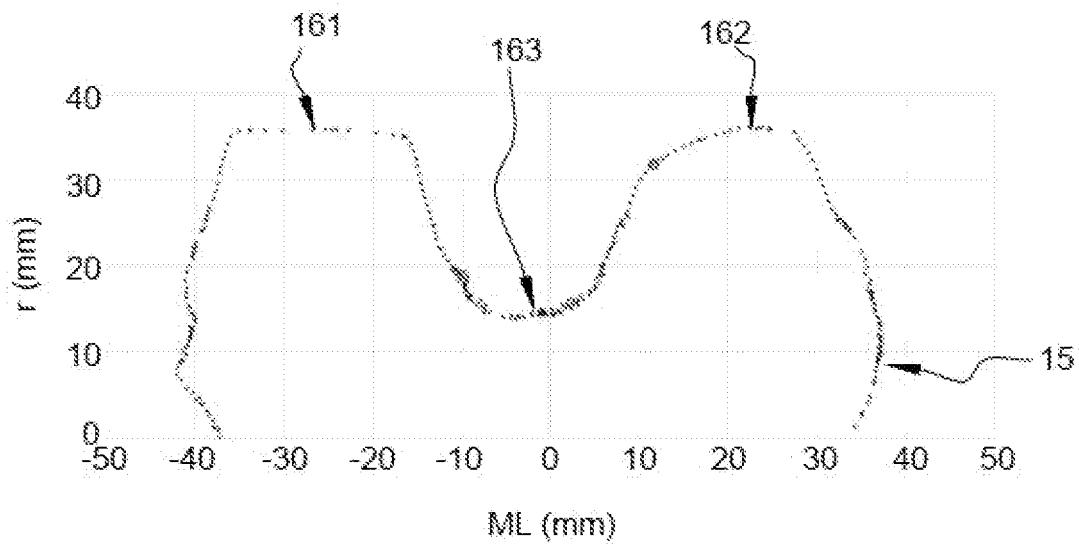
[Fig. 6]



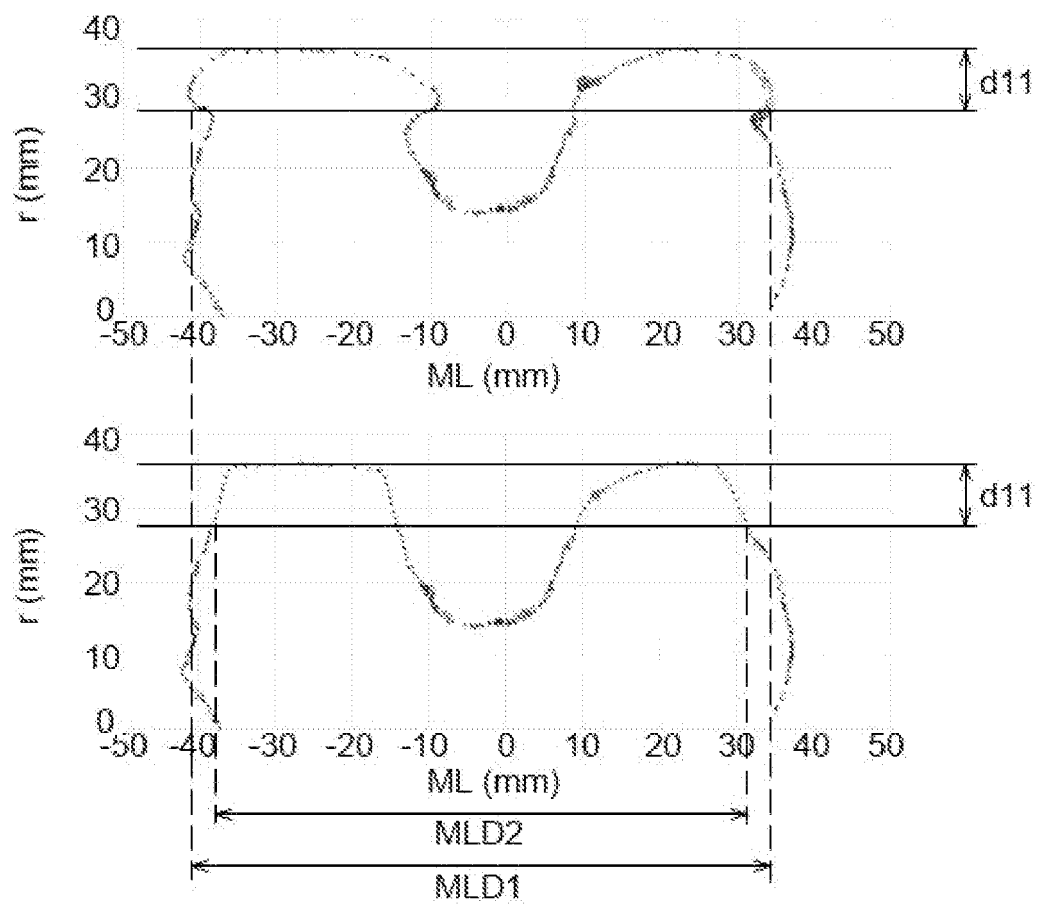
[Fig. 7]



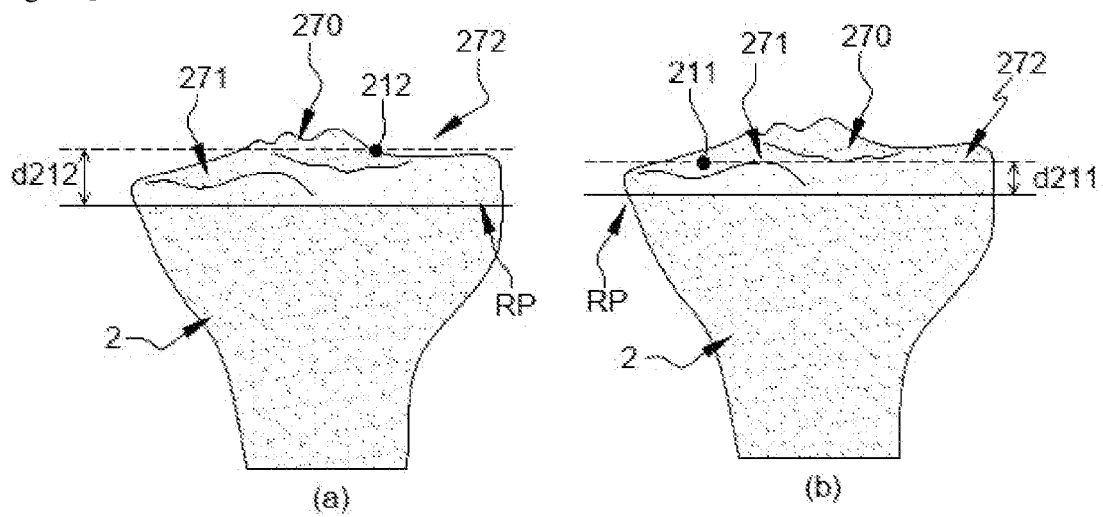
[Fig. 8]



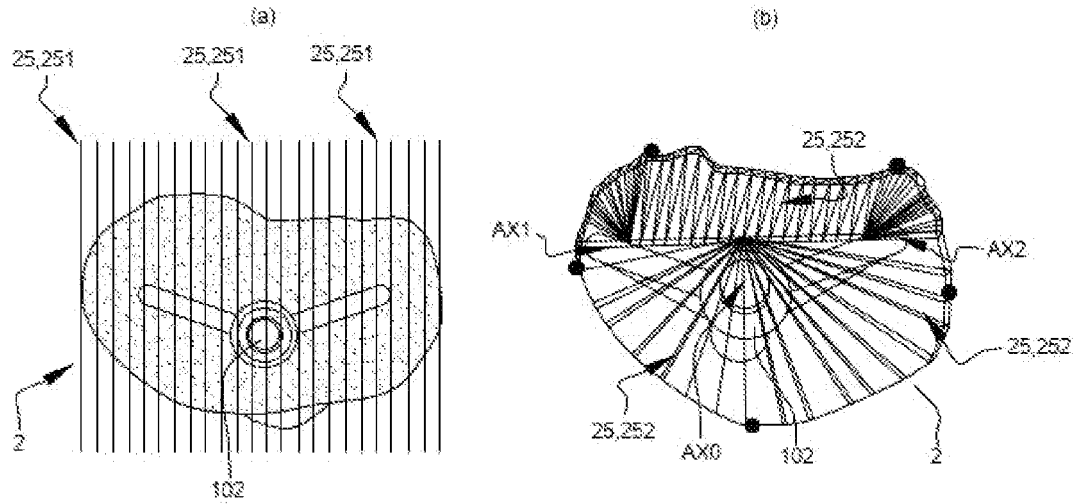
[Fig. 9]



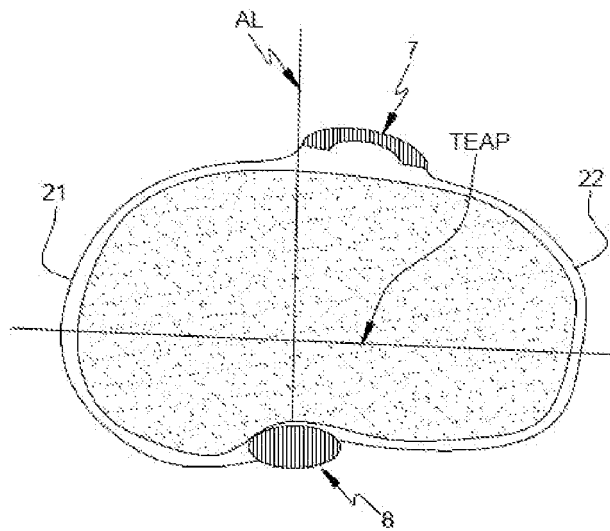
[Fig. 10]



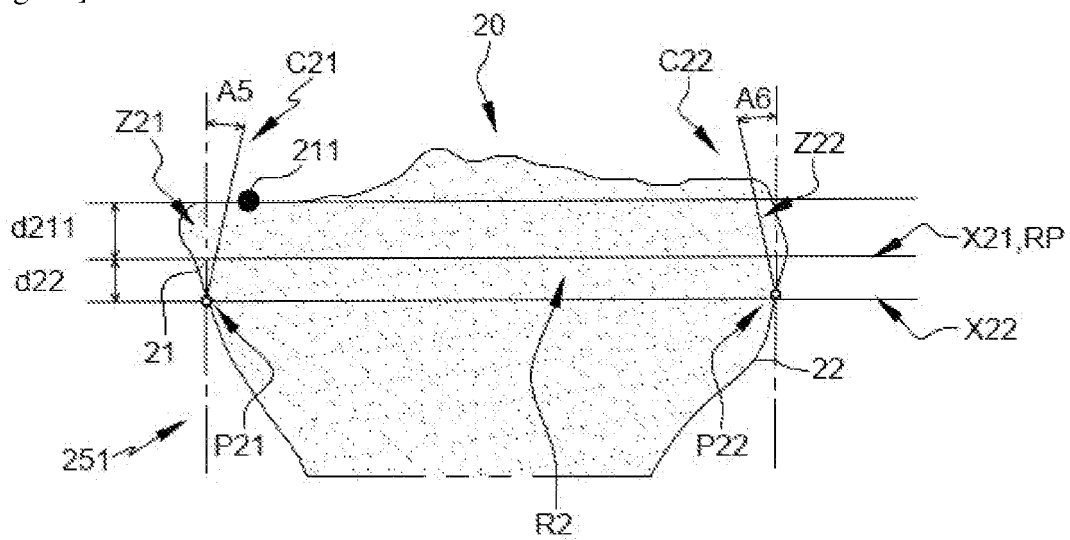
[Fig. 11]



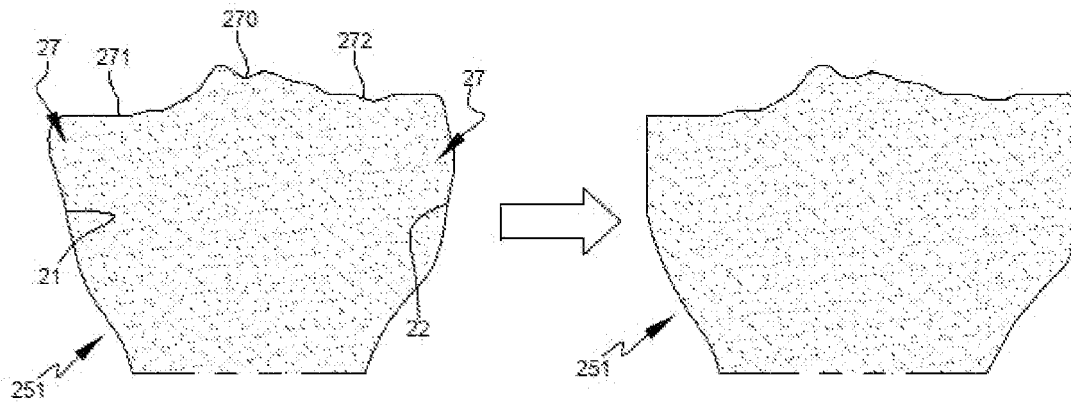
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 914493
FR 2213848

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 2011/282473 A1 (PAVLOVSKAIA ELENA [US] ET AL) 17 novembre 2011 (2011-11-17)	1, 4, 6,	A61F2/30
A	* alinéa [0021] * * alinéa [0123] - alinéa [0128] * * alinéa [0151] - alinéa [0169] * * alinéa [0296] * * figures 1A-1E, 2A, 2B, 6, 7A-7K, 8, 10 * -----	19, 26	A61F2/38
		2, 3, 5,	G06F30/10
		7-18,	G06F111/10
		20-25	G06T17/00
X	US 2009/151736 A1 (BELCHER NATHAN EMICK [US] ET AL) 18 juin 2009 (2009-06-18)	1, 4, 6, 26	
	* alinéa [0024] - alinéa [0038] * * figures 1, 6, 7, 10 * -----		
A	US 2012/041446 A1 (WONG TERRANCE [US] ET AL) 16 février 2012 (2012-02-16)	1	
	* alinéa [0629] - alinéa [0630] * * alinéa [0633] - alinéa [0636] * * figures 52A, 52B, 54A-55D * -----		
A	WO 2015/089118 A1 (MAHFOUZ MOHAMED R [US]) 18 juin 2015 (2015-06-18)	1	
	* alinéa [0317] - alinéa [0322] * * figures 91-93 * -----		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			A61F A61B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 juin 2023		Storer, John	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213848 FA 914493**

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 **22-06-2023**
 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
US 2011282473 A1	17-11-2011	US	2011282473 A1	17-11-2011	
		US	2012192401 A1	02-08-2012	
		US	2013197687 A1	01-08-2013	
		US	2016074048 A1	17-03-2016	
		US	2017238995 A1	24-08-2017	
		US	2019117268 A1	25-04-2019	

US 2009151736 A1	18-06-2009	US	2009151736 A1	18-06-2009	
		US	2018140426 A1	24-05-2018	

US 2012041446 A1	16-02-2012	DE	202012007479 U1	30-10-2012	
		US	2012041446 A1	16-02-2012	
		US	2014163568 A1	12-06-2014	
		US	2016242931 A1	25-08-2016	
		US	2016331467 A1	17-11-2016	

WO 2015089118 A1	18-06-2015	AU	2014363945 A1	30-06-2016	
		AU	2019202570 A1	02-05-2019	
		AU	2019202571 A1	02-05-2019	
		AU	2020289785 A1	21-01-2021	
		AU	2021232696 A1	14-10-2021	
		AU	2022241597 A1	27-10-2022	
		CA	2933235 A1	18-06-2015	
		CA	2998734 A1	18-06-2015	
		CA	3061807 A1	18-06-2015	
		CA	3089031 A1	18-06-2015	
		CA	3091587 A1	18-06-2015	
		CA	3093207 A1	18-06-2015	
		CA	3151349 A1	18-06-2015	
		CA	3177482 A1	18-06-2015	
		CA	3177485 A1	18-06-2015	
		CN	106170705 A	30-11-2016	
		CN	113180805 A	30-07-2021	
		CN	113180806 A	30-07-2021	
		CN	113208687 A	06-08-2021	
		CN	113208714 A	06-08-2021	
		EP	3080619 A1	19-10-2016	
		EP	3395281 A1	31-10-2018	
		EP	3653158 A1	20-05-2020	
		EP	3800476 A1	07-04-2021	
		EP	4159150 A1	05-04-2023	
		ES	2718114 T3	27-06-2019	
		ES	2900549 T3	17-03-2022	
		JP	6698528 B2	27-05-2020	
		JP	7159258 B2	24-10-2022	
		JP	2017510307 A	13-04-2017	

EPO FORM P0465

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213848 FA 914493**

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 **22-06-2023**
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
		JP 2020044343 A	26-03-2020
		JP 2021020089 A	18-02-2021
		JP 2021079142 A	27-05-2021
		JP 2021098032 A	01-07-2021
		JP 2023014084 A	26-01-2023
		KR 20160097342 A	17-08-2016
		KR 20210019135 A	19-02-2021
		KR 20210019136 A	19-02-2021
		KR 20210019595 A	22-02-2021
		KR 20220033530 A	16-03-2022
		KR 20220057634 A	09-05-2022
		KR 20220070331 A	30-05-2022
		KR 20220140644 A	18-10-2022
		KR 20220141347 A	19-10-2022
		KR 20230073344 A	25-05-2023
		WO 2015089118 A1	18-06-2015
