

UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

FES



Année 2012

Thèse N° 130/12

INFLUENCE DE L'OSTEOTOMIE TIBIALE DE VALGISATION PAR OUVERTURE INTERNE SUR LE CENTRE DU GENOU

THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 05/10/2012

PAR

M. ABID HATIM

Né le 07 Avril 1984 à Meknès

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

MOTS-CLES :

Genu varum - Ostéotomie tibiale de valgisation par ouverture interne
Centre du genou - Planification pré opératoire

JURY

Mme. TIZNITI SIHAM..... PRESIDENT
Professeur de Radiologie

M. EL MRINI ABDELMAJID..... RAPPORTEUR
Professeur de Traumatologie-orthopédie

M. BOUARHROUM ABDELLATIF..... JUGE
Professeur agrégé de Chirurgie Vasculaire Périphérique

ABREVEATIONS :

OTV	: ostéotomie tibiale de valgisation
OFV	: ostéotomie fémorale de varisation
LCA	: ligament croisé antérieur
LCP	: ligament croisé postérieur
LLI	: ligament latéral interne
LLE	: ligament latéral externe
TF	: torsion fémorale
TT	: torsion tibiale
RFT	: rotation fémoro-tibiale
AMA	: angle mécano-anatomique
LPFA	: ligne d'orientation de la hanche
mLDFA	: ligne d'orientation des condyles fémoraux
MPTA	: ligne d'orientation du plateau tibial
LDTA	: ligne d'orientation de la cheville

PLAN

INTRODUCTION	4
PREMIERE PARTIE	6
I- Rappel anatomique.....	7
1- Anatomie descriptive	7
1.1) Structures osseuses	8
1.2) Moyens d'union	12
2- Analyse cinématique.....	18
2.1) Mouvement de flexion extension.....	18
2.2) Mouvement de rotation axiale	20
3- Architecture du membre inférieur	21
II- Rappel biomécanique.....	24
1- Généralités.....	24
2- Axes du membre inférieur	25
2.1) Axe mécanique	25
2.2) Axe anatomique	26
3- Centres articulaires	28
3.1) Hanche	28
3.2) Genou	28
3.3) cheville	29
4- Alignement et désalignement du membre inférieur	30
4.1) L'orientation articulaire.....	30
4.2) L'alignement articulaire	33
4.3) Désalignement articulaire	34
4.3.1) d'origine osseuse	34

4.3.2) d'origine inter osseuse	35
4.3.3) d'origine condylienne	36
DEUXIEME PARTIE : étude théorique	38
I- OBJECTIFS	39
II- MATERIELS	39
1- Rappel mathématique.....	39
2- Démonstration	45
2.1) Déplacement du centre mécanique.....	45
2.2) Déplacement du centre anatomique	54
III- RESULTATS	58
1- Pour le centre mécanique	58
2- Pour le centre anatomique.....	60
3- Intérêt pratique de l'étude	61
IV- DISCUSSION	63
1- Biomécanique du genou normal.....	63
2- Biomécanique du genou arthrosique sur genu varum	65
3- Effet biomécanique de l'ostéotomie	66
3.1) Généralités	66
3.2) Théorie de l'écart varisant.....	69
3.3) Avantage pratique de notre étude : planification	
pré opératoire	72
3.4) Perspectives.....	79
CONCLUSION	81
RESUME	83
BIBLIOGRAPHIE	87

INTRODUCTION

Les ostéotomies autour du genou pour le traitement des déviations axiales en varus et en valgus sont pratiquées depuis plus de 50 ans. Les plus courantes sont les ostéotomies tibiales de valgisation (OTV) pour le genu varum et les ostéotomies fémorales de varisation (OFV) pour le genu valgum.

L'ostéotomie tibiale de valgisation quelle que soit sa technique a un taux de survie d'environ 85 % à dix ans, si on considère la ré intervention comme critère d'échec, avec un indice de confiance à 78 %.(1)

L'OTV est réputée donner de bons résultats, durables, lorsque l'indication est bien posée et lorsque l'intervention est bien réalisée. On considère habituellement que l'intervention a été bien réalisée lorsque l'on a obtenu en postopératoire une hypercorrection en valgus de 3 à 6° ceci par rapport à l'axe mécanique du membre inférieur qui relie le centre de la tête fémorale au milieu de la cheville en passant par le milieu des épines tibiales, soit un angle de 183 à 186°.(2)

En raison de cette incertitude dans le résultat fonctionnel que peut engendrer une hypercorrection trop importante, ou à un échec par hypo correction, nous avons pensé que les OTV pouvaient être une excellente application à une étude mathématique, pour comprendre la biomécanique du genou dans le plan frontal qui est essentielle pour appréhender les effets d'une ostéotomie tibiale de valgisation.

PREMIERE PARTIE

I- RAPPEL ANATOMIQUE :

1- Anatomie descriptive

Le genou est composé de deux articulations : l'articulation fémoro-tibiale et l'articulation fémoro - patellaire. Notre travail, repose sur la compréhension de l'équilibre statique du membre inférieur et donc principalement sur l'articulation fémoro-tibiale. (Figure 1-(3))

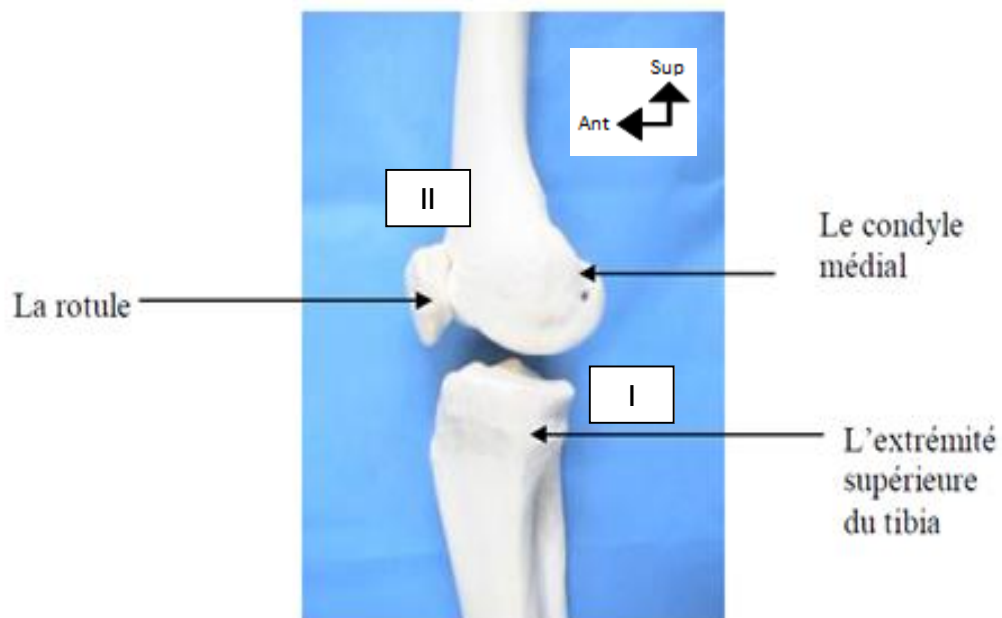


Figure 1 : Coupe sagittale du genou.

I. L'articulation fémoro-tibiale.

II. L'articulation fémoro-patellaire.

1.1. Structure osseuse

a) Le fémur :

La partie postérieure de l'épiphyse distale du fémur supporte les deux condyles. Ils sont proéminents et divergents vers l'arrière, présentant une double convexité transversale et sagittale.

Les condyles sont séparés en arrière par l'échancrure intercondylienne.

(Figure 2-(3))

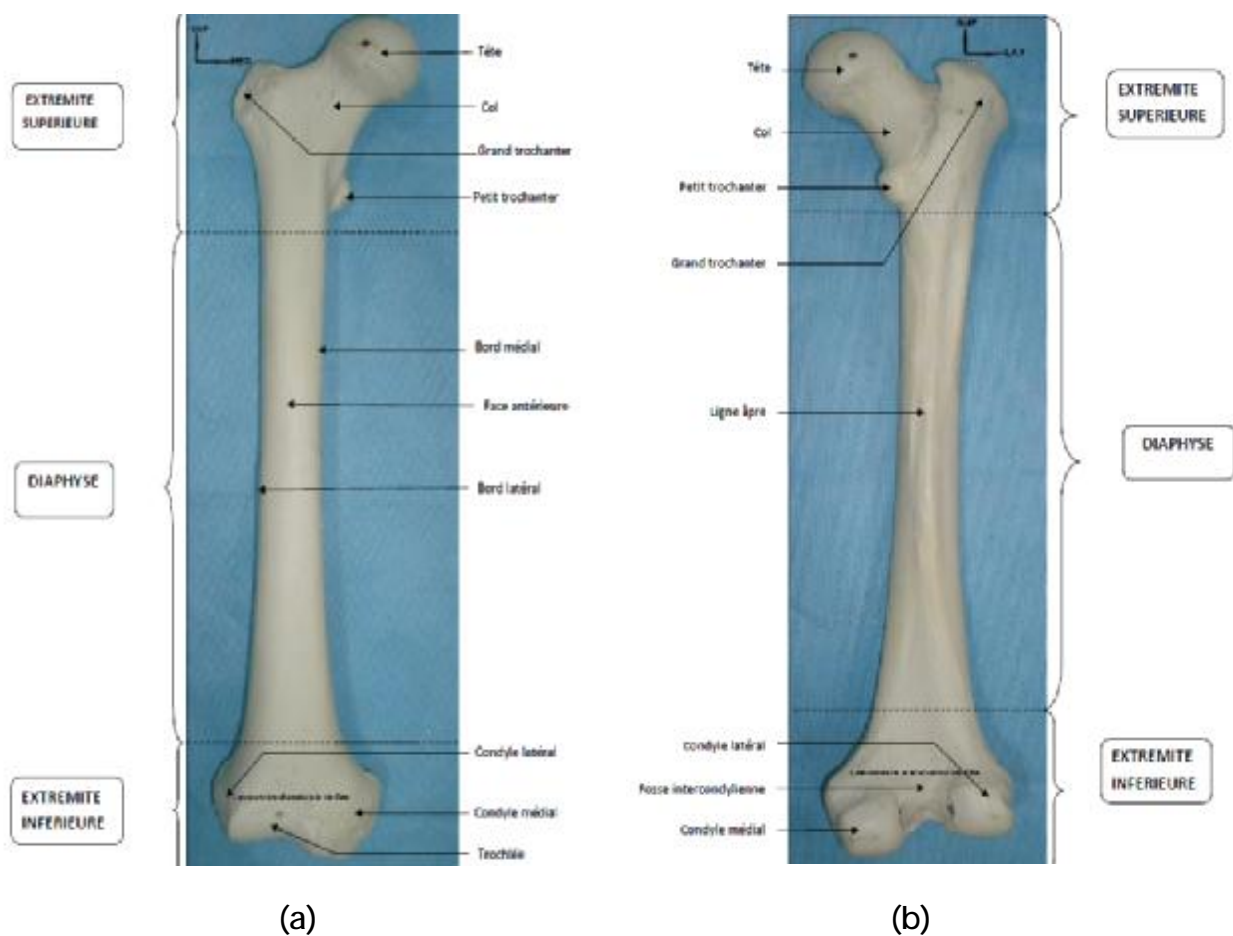


Figure 2 :

a) Vue antérieure frontale du fémur.

b) Vue postérieure frontale du fémur.

Comme le montre Kapandji (4), dans un plan sagittal, la courbure des surfaces articulaires de ces condyles évolue. L'ensemble des centres de courbure décrit une courbe évolutive, dite évolutive de Fick. (Figure 3-(4))

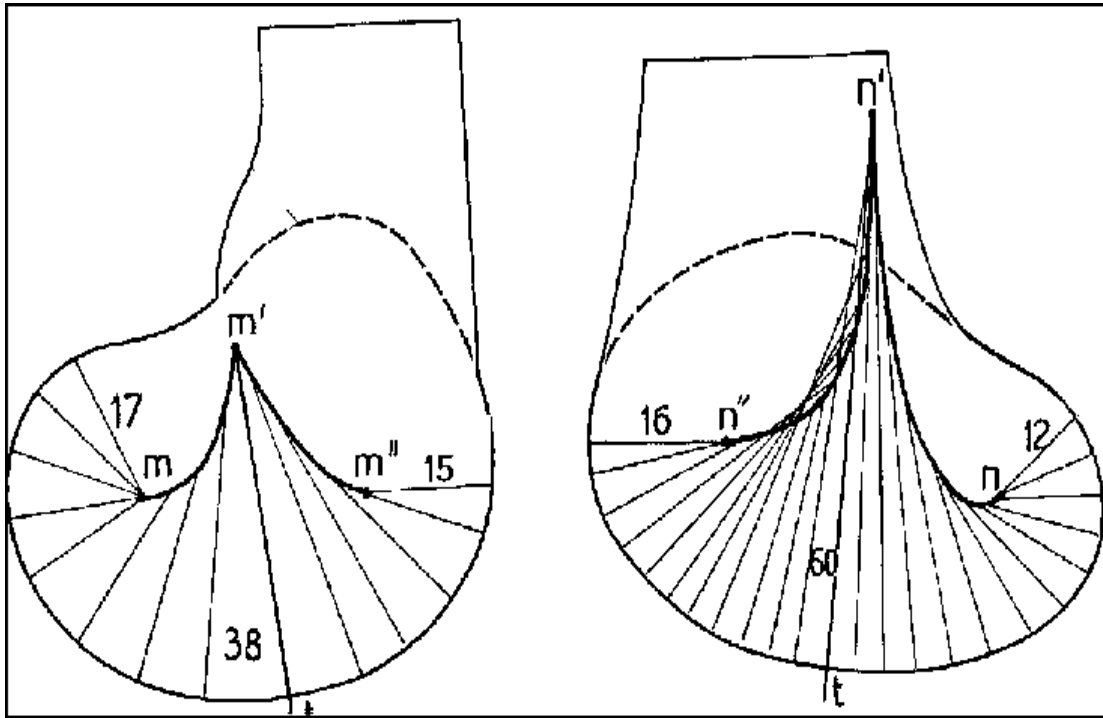


Figure 3 : Coupe latérale et médiale du fémur montrant les courbures et le lieu des centres de courbures.

La trochlée fémorale, est située à la face antérieure de l'épiphyse distale du fémur, elle est formée de deux joues séparées par une gorge; la joue latérale étant plus saillante que la joue médiale. La trochlée et la rotule ou patella forment l'articulation femoro-patellaire. (Figure 4-(3))

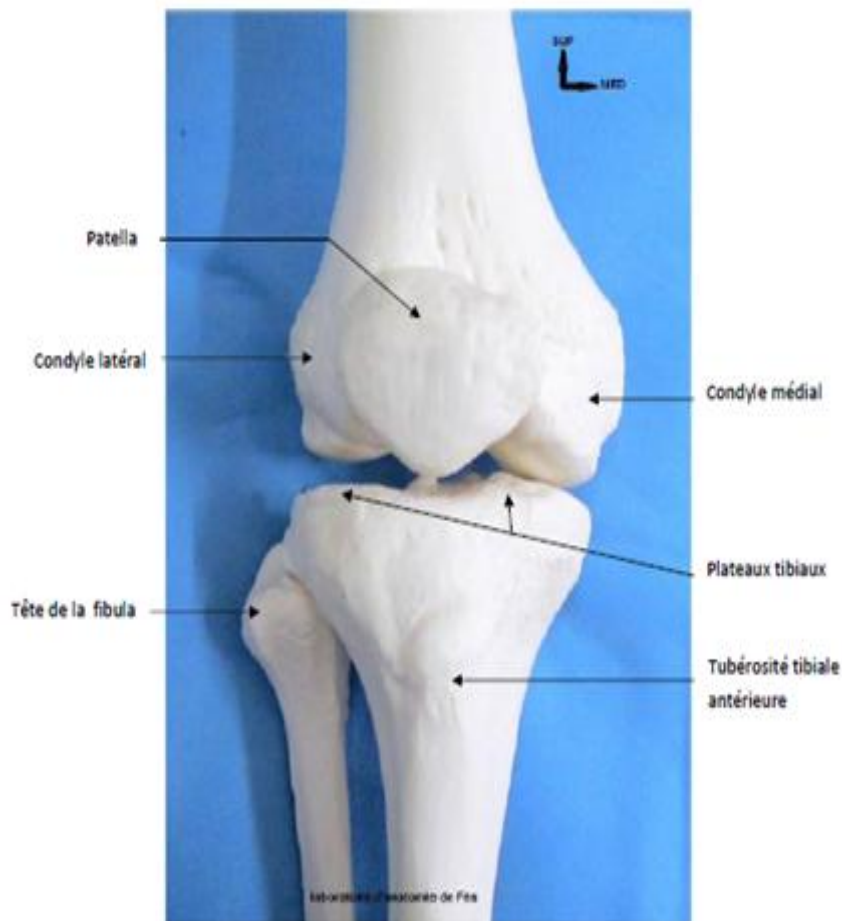


Figure 4 : vue antérieure du genou.

b) Le tibia :

L'épiphyse proximale du tibia est constituée de deux tubérosités, chacune surmontée d'une cavité glénoïde qui forme le plateau tibial. La cavité glénoïde médiale est concave transversalement et sagittalement, constituant une cupule dans laquelle se stabilise le condyle médial. La cavité glénoïde latérale est concave transversalement et convexe sagittalement, permettant un déplacement sagittal du

condyle latéral. Dans la partie centrale du plateau, les cavités se redressent pour former le massif des épines. Ce massif crée un pivot de rotation qui s'engage dans la fosse intercondylienne. (Figure 5-(3))

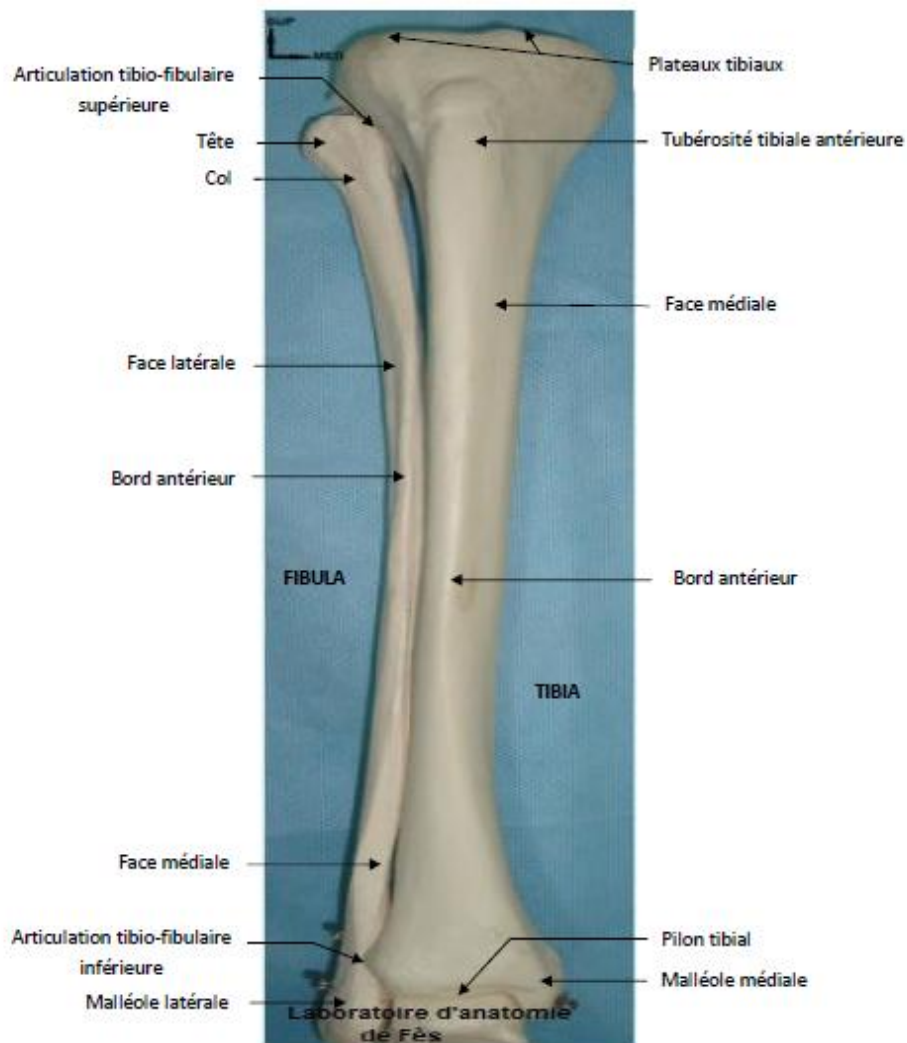


Figure 5: vue antérieure des 2 os de la jambe

1.2. Les moyens d'union

Un système ligamentaire assure la liaison mécanique entre le fémur et le tibia. Il est complété par un système musculaire qui assure une stabilisation statique et dynamique. De même, la patella ou rotule est liée au tibia par le ligament patellaire.

a) Les ligaments et la capsule :

Les ligaments de l'articulation fémoro-tibiale sont :

- Le ligament croisé postérieur (LCP) qui s'insère au niveau de la moitié supérieure de la face médiale de l'échancrure intercondylienne et sur la partie postérieure de l'épine tibiale, en dessous de l'interligne articulaire,
- Le ligament croisé antérieur (LCA) qui s'insère dans la partie postérieure de la face latérale de l'échancrure intercondylienne, il croise par devant le ligament croisé postérieur pour se fixer sur la partie antérieure de l'épine tibiale,
- Le ligament latéral interne (LLI) qui s'insère sur la face médiale du condyle médial et sur la face médiale du tibia,
- Le ligament latéral externe (LLE) qui s'insère sur la face externe du condyle latéral et sur la tête de la fibula. A noter que l'articulation fibulo-tibiale ne possède pratiquement aucune mobilité.

En complément des ligaments, les coques condyliennes postérieures ont un rôle primordial dans la stabilité du genou en extension. Enfin, la capsule enserre la totalité de l'articulation du genou et contient le liquide synovial. (Figure 6-(3))

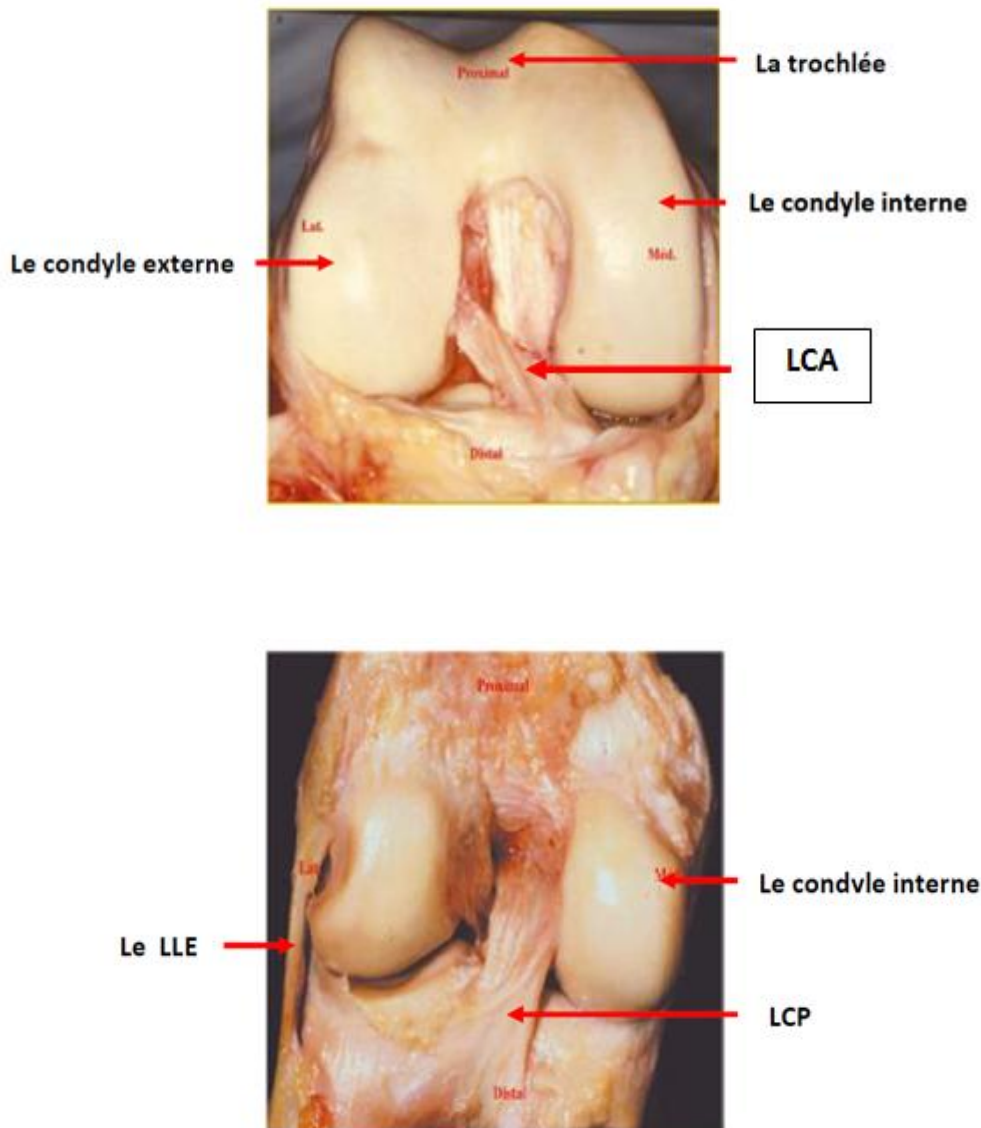


Figure 6 : les ligaments croisés du genou

b) Les ménisques :

Si aucune structure n'augmente la congruence fémoro-patellaire, la congruence fémorotibiale est grandement améliorée par la présence de ces fibrocartilages. Le ménisque médial assez ouvert (en forme de C) accroît la concavité glénoïdienne médiale et le ménisque latéral (en forme de O) transforme en discrète concavité la convexité de la cavité glénoïdienne latérale. Les ménisques augmentent

donc la stabilité du genou, répartissent la charge axiale et participent à l'amortissement des chocs. (Figure 7- (5))

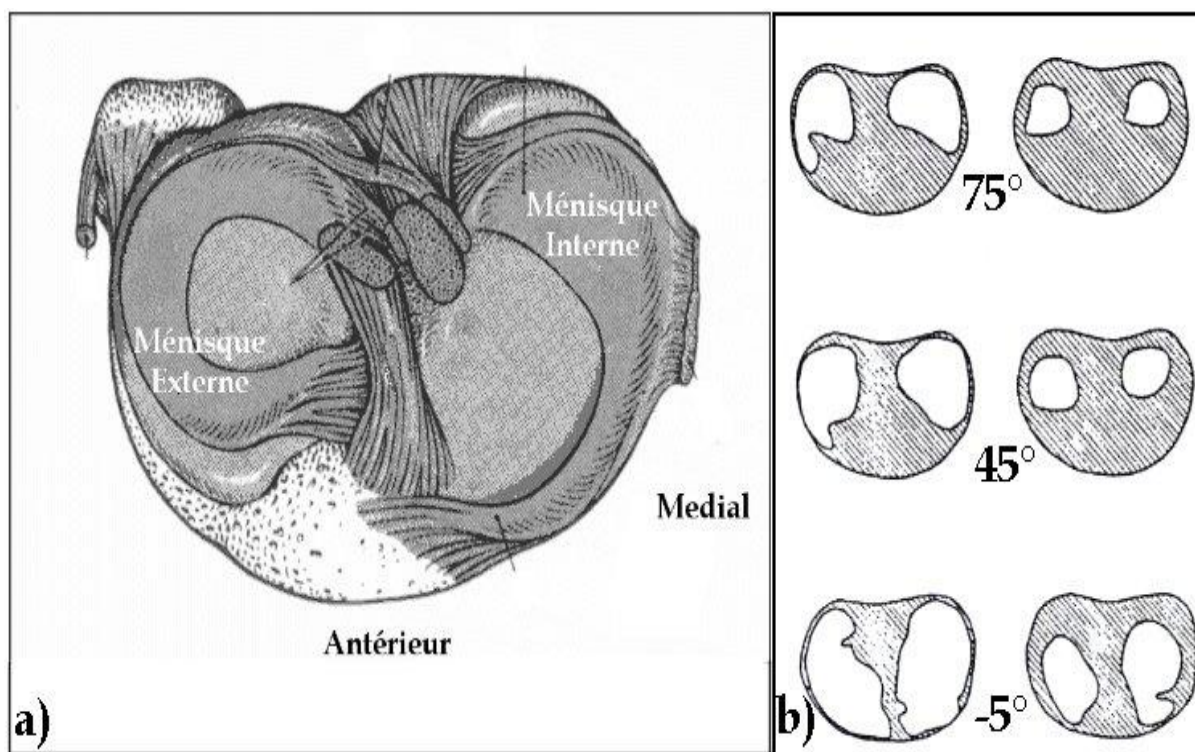


Figure 7 :

a) Les ménisque, vue axiale du plateau tibial.

b) Surfaces portantes fémoro-tibiales pour le genou intact

(à gauche) et après une double méniscectomie (à droite).

c) Les muscles extenseurs du genou :

Le muscle quadriceps est responsable de l'extension du genou et ses quatre chefs y contribuent à des degrés divers : ainsi le muscle droit antérieur de la cuisse ne suffit pas à maintenir l'extension complète et les fibres inférieures du muscle vaste médial assurent les 15 derniers degrés de l'extension. Au-delà de la patella, le muscle quadriceps exerce son action sur la jambe, par l'intermédiaire du ligament

patellaire et des expansions fibreuses des muscles vastes. Cet ensemble ostéo-ligamentaire constitue l'appareil extenseur du genou. (Figure 8-(3))

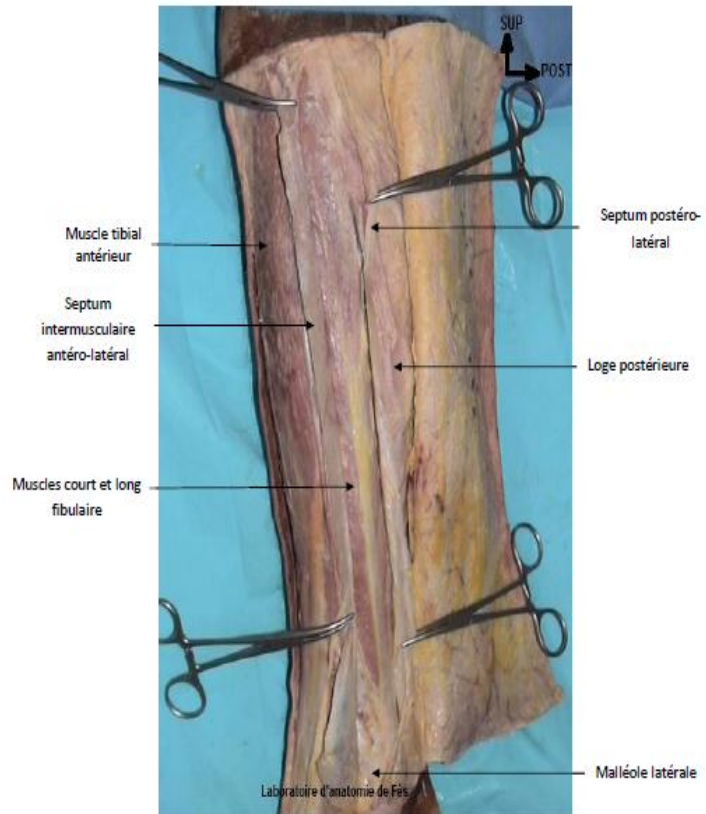
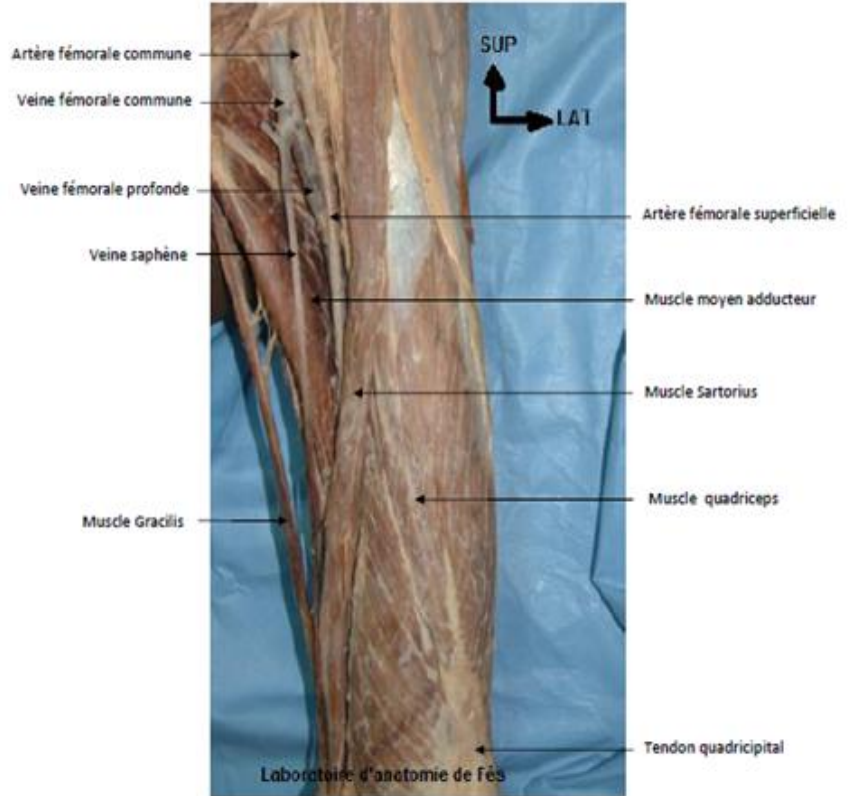
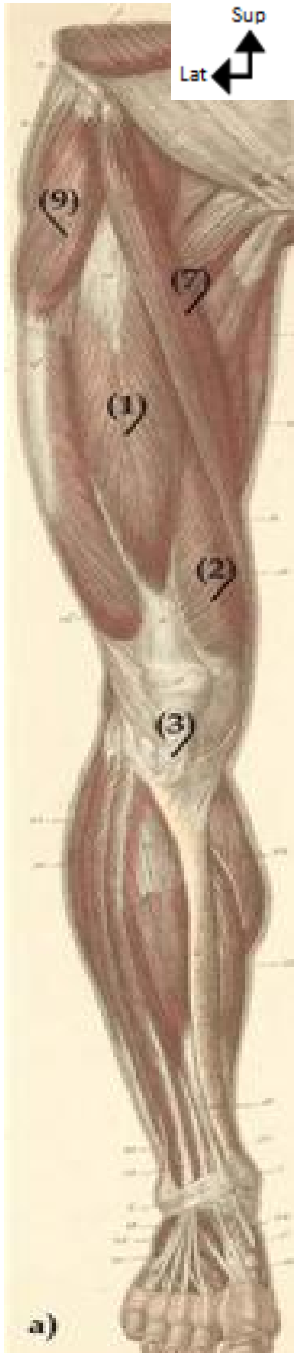
d) Les muscles fléchisseurs du genou :

Ils sont placés essentiellement dans la loge postérieure de la cuisse, ce sont :

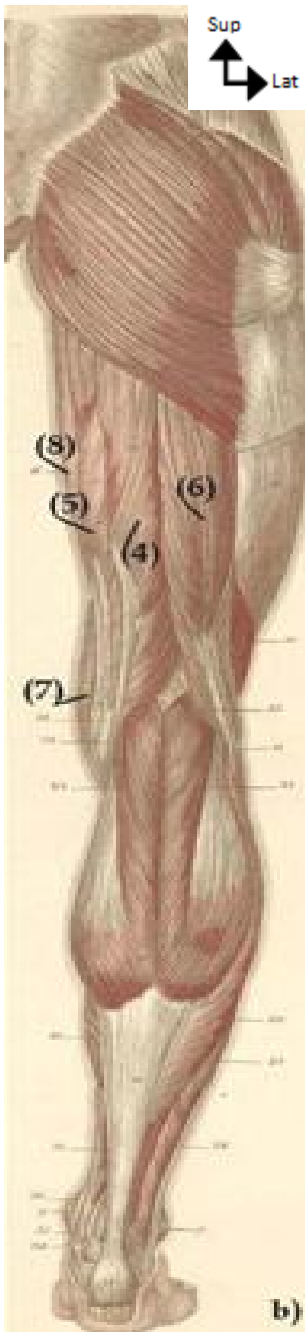
- Les muscles ischio-jambiers : formés par le demi-tendineux, le demi-membraneux et le long biceps. Ils sont tous les trois poly articulaires, et ont une action couplée sur la hanche et le genou. Plus la hanche se fléchit, plus les muscles ischio jambiers, en tension progressive, sont efficaces dans la flexion du genou,
- Le muscle sartorius : c'est un muscle fin et long, superficiel, qui s'enroule autour de la hanche. Iliaque fixe (os du bassin), il est fléchisseur du fémur et du tibia. C'est un stabilisateur du genou lorsque celui-ci est en hyper-extension.
- Le muscle gracile, bien qu'il soit adducteur, il est aussi fléchisseur commun de la hanche et du genou et rotateur médial. (Figure 8)

e) Les muscles rotateurs du genou :

La rotation latérale est assurée par les muscles biceps fémoral et tenseur du fascia lata. Lorsque le genou est fléchi, leur contraction provoque une rotation latérale des plateaux tibiaux. La rotation médiale est assurée par les muscles sartorius, demi-membraneux, demi tendineux, gracile et poplité. (Figure 8-(3))



- 1). Muscle droit antérieur
- 2). Muscle vaste médial
- 3). Ligament patellaire
- 4). Muscle demi-tendineux
- 5). Muscle demi-membraneux
- 6). Long biceps
- 7). Muscle sartorius
- 8). Muscle gracile
- 9). Tenseur du fascia lata



- 1). Muscle droit antérieur
- 2). Muscle vaste médial
- 3). Ligament patellaire
- 4). Muscle demi-tendineux
- 5). Muscle demi-membraneux
- 6). Long biceps
- 7). Muscle sartorius
- 8). Muscle gracile
- 9). Tenseur du fascia lata

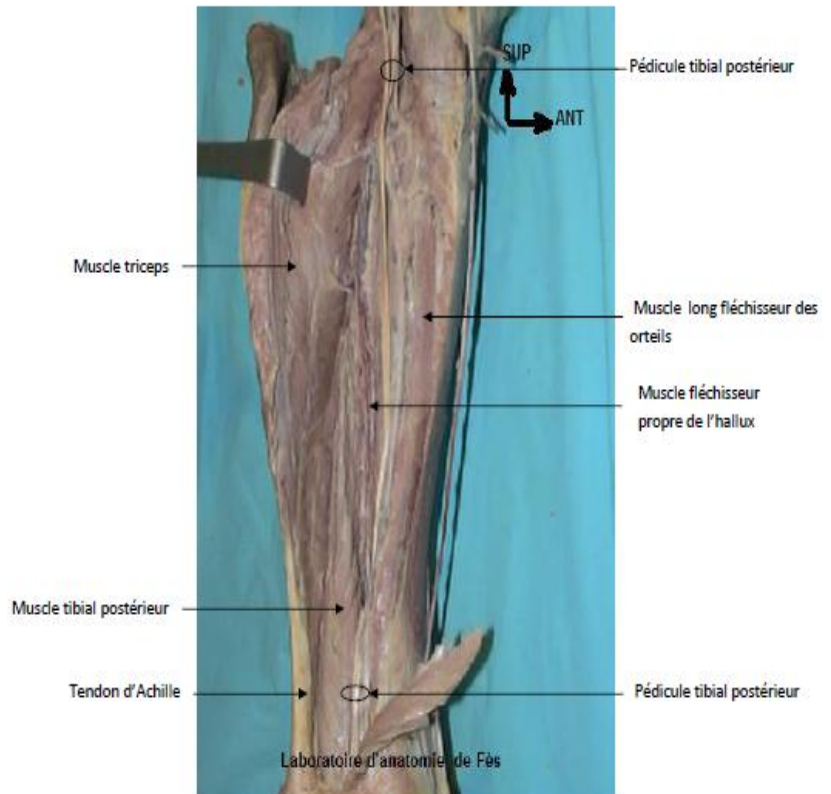
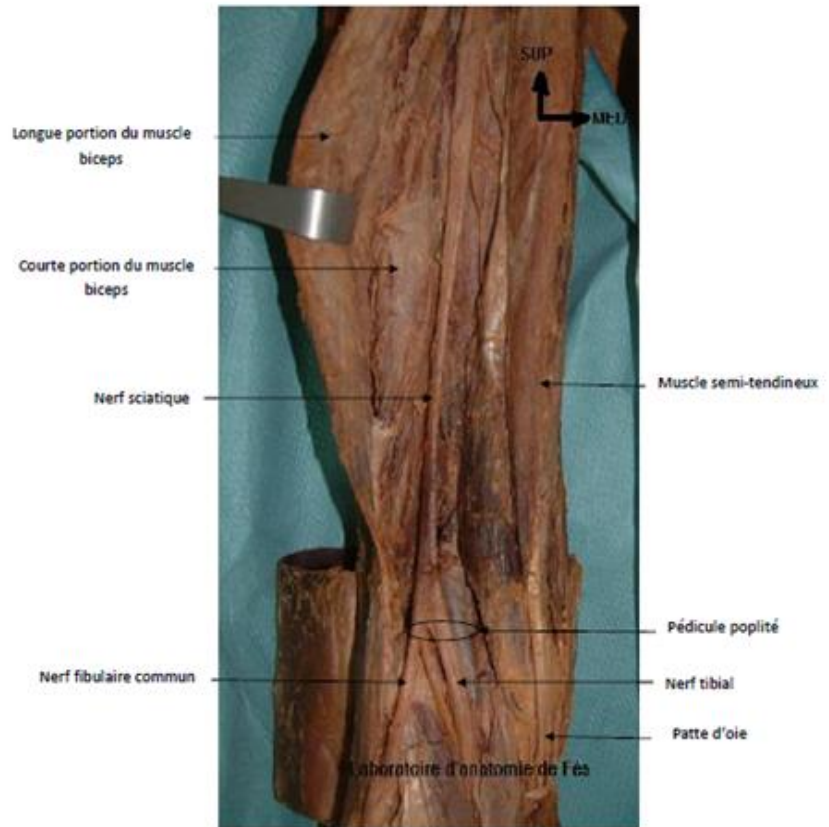


Figure 8 : a) Vue antérieure, les muscles extenseurs du genou.

b) Vue postérieure, les muscles fléchisseurs.

2- Analyse cinématique

Le genou est une articulation à deux degrés de liberté principaux, représentés par la flexion extension et par la rotation autour de l'axe longitudinal de la jambe (4).

2.1- Mouvement de flexion-extension :

Son amplitude s'apprécie à partir d'une position de référence où l'axe de la jambe est situé dans le prolongement de l'axe de la cuisse. Dans cette position de référence, le membre inférieur est dans son état d'allongement maximum. Cependant, il est possible passivement d'effectuer un mouvement d'hyper extension de 5 à 10° par rapport à cette position. La flexion active atteint 140° si la hanche est fléchie et 120° seulement si la hanche est en extension. La flexion passive atteint 160°. (Figure 9- (4))

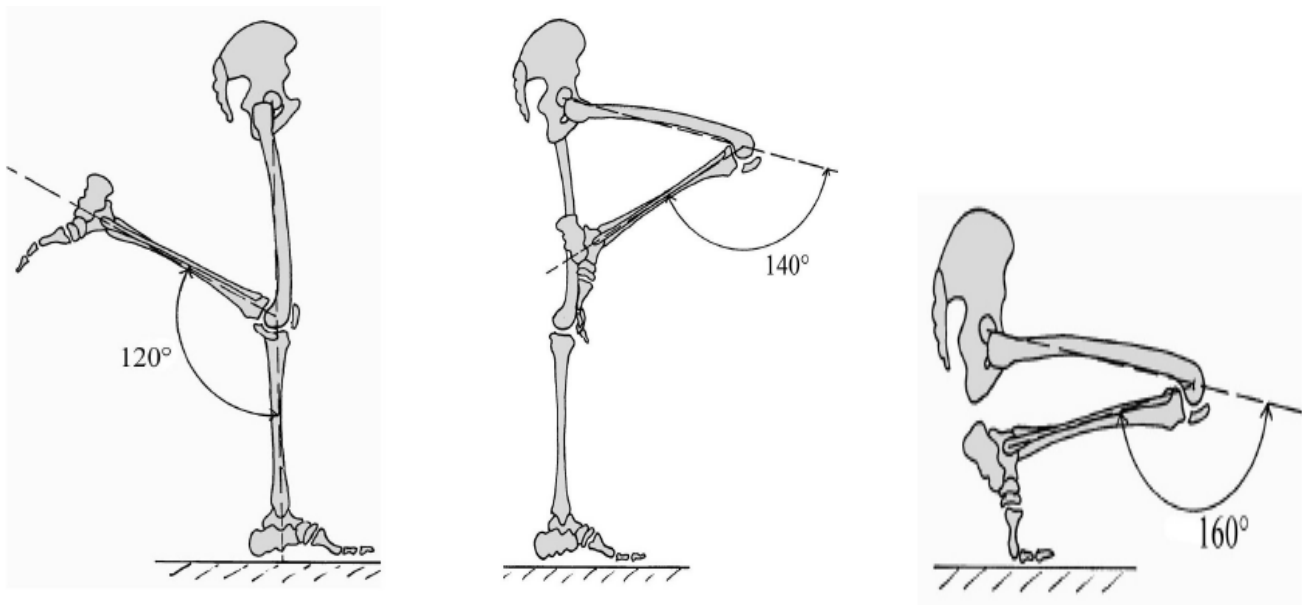


Figure 9 : Mouvements de flexion extension du genou.

La flexion-extension s'associe à un mouvement de roulement glissement des condyles fémoraux sur les plateaux tibiaux. La flexion commence par un glissement isolé, puis apparaît le roulement qui augmente progressivement, pour atteindre 60% du mouvement entre 60 et 90° de flexion. Au-delà, le roulement diminue et la flexion se termine par un glissement pur. (Figure 10- (4))

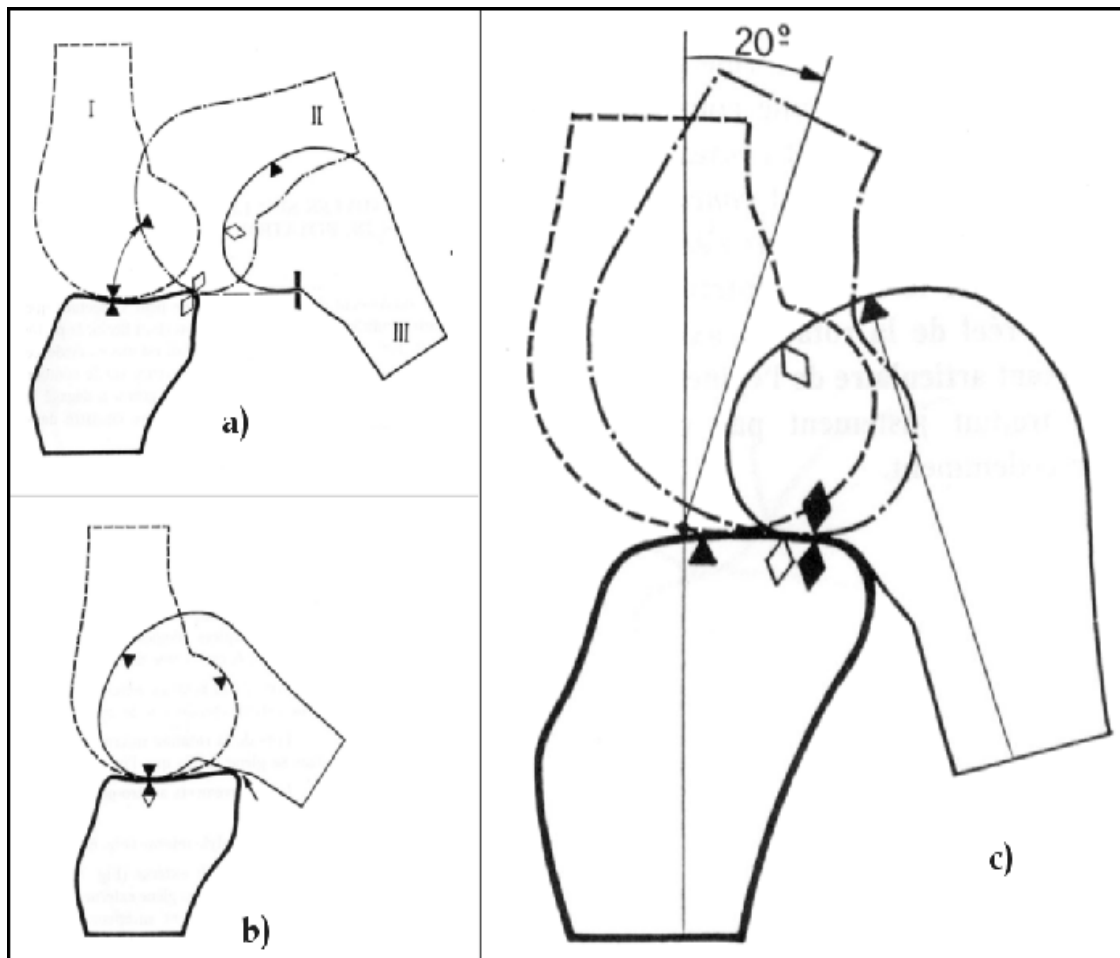


Figure 10 : La flexion du genou.

a) Effet de roulement pur.

b) Effet du glissement pur.

c) Principe de roulement glissement du genou.

Les surfaces articulaires ainsi que les structures ligamentaires collatérales et croisées sont à l'origine de ce mouvement de roulement-glisserment.

2.2- Mouvement de rotation axiale :

La rotation active de la jambe autour de son axe longitudinal ne peut être effectuée que genou fléchi. A une flexion de 90°, à partir de la position de référence, la rotation latérale atteint 30°, la rotation médiale 40°. (Figure 11- (4)).

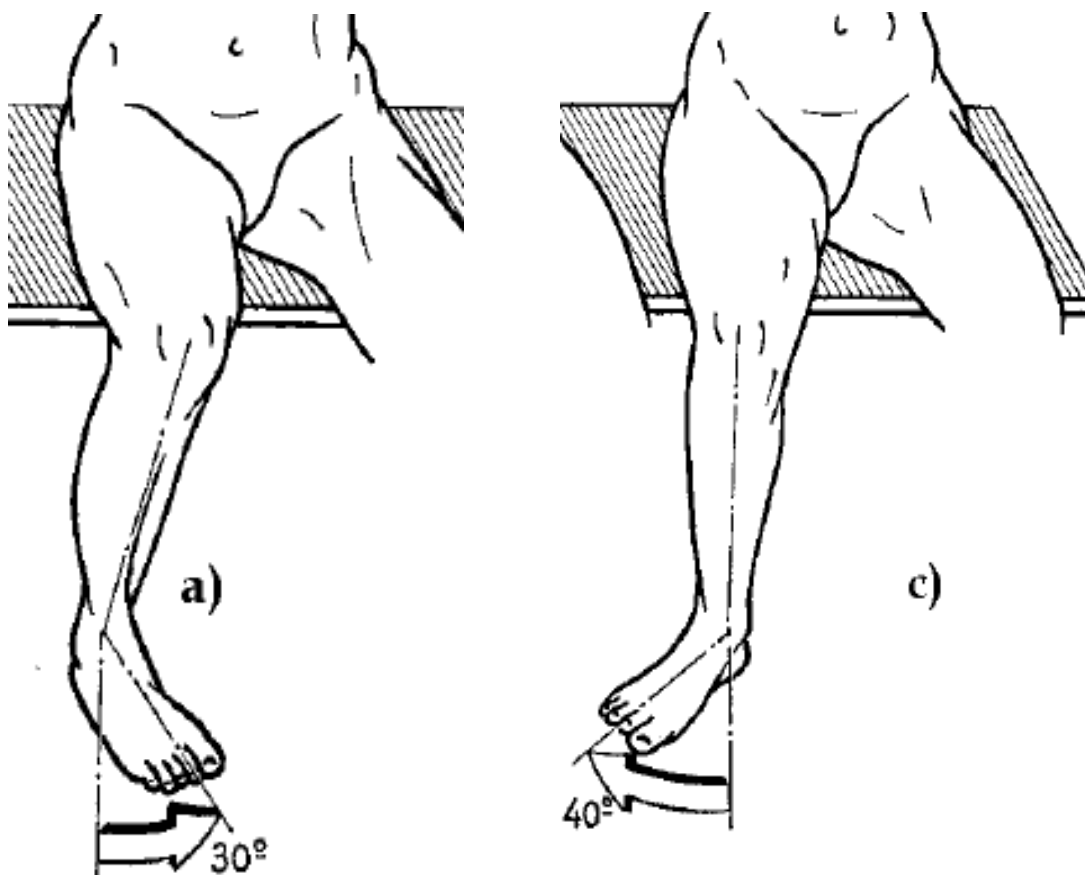


Figure 11 : Amplitudes de rotation.

- a) Rotation interne
- b) Rotation externe

Il existe une rotation automatique lors des mouvements de flexion extension. Lorsque le genou fléchit, le segment jambier tourne en rotation interne. Cette rotation automatique est imposée par :

- L'inégalité des courbures condyliennes : le développement de la surface articulaire du condyle médial est plus important que celui du condyle latéral,
- La forme des cavités glénoïdes,
- La longueur et l'orientation des ligaments latéraux.

L'axe de la rotation axiale passe en dedans de l'épine tibiale médiale et par l'insertion fémorale du ligament croisé postérieur.

3- Architecture générale du membre inférieur: Aspect morphologique

Le fémur et le tibia sont deux os courbes. Selon Kapandji, ces courbures traduisent les efforts qui sont appliqués sur le membre inférieur. Ces deux os sont, dans le plan sagittal, concaves vers l'arrière. Cette géométrie permet aux masses musculaires de venir se loger dans ces volumes disponibles, offrant ainsi une meilleure mobilité en flexion-extension. Malgré ces courbures, dans le cas d'un genou sain, les extrémités osseuses restent alignées dans le plan frontal.

Dans le plan horizontal, les différentes surfaces articulaires ne sont plus alignées. Trois angles anatomiques permettent de définir cet alignement axial (Figure 12- (4)):

- La torsion fémorale, mesurée entre le col du fémur et l'axe des condyles,
- La torsion tibiale, mesurée entre l'axe passant par les deux plateaux tibiaux et l'axe joignant les malléoles,
- La rotation fémoro-tibiale, à distinguer d'une torsion, qui traduit la rotation des plateaux sous le fémur.

Par définition une torsion interne est négative, une torsion externe est positive. Lerat (6) via une analyse tomodensitométrique, définit les critères de normalité chez l'adulte sain. L'étude porte sur soixante membres inférieurs :

- La torsion fémorale est en moyenne de -14° (avec un écart type de $\pm 6^{\circ}$) avec des extrêmes entre 0 et -40° , 50% de la population se situe entre -10 et -20° .
- La torsion tibiale assimilée ici à l'angle condyles/malléoles est de 34° (avec un écart type de $\pm 8^{\circ}$) avec des extrêmes de 15 à 48° ,
- La rotation fémoro-tibiale, mesurée comme la rotation des condyles sur les plateaux tibiaux, est de 3° en moyenne.

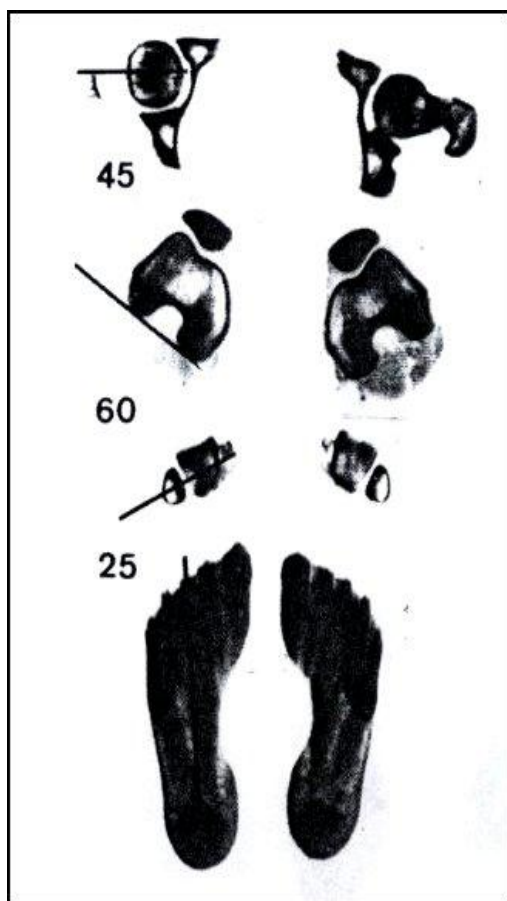


Figure 12 : Torsion du membre inférieur dans un plan horizontal

En 1992, Duparc (7) complète les travaux de Lerat en portant l'analyse sur des genoux arthrosiques: (Figure 13- (7))

- La torsion fémorale est en moyenne de -16° , mais avec des valeurs extrêmes témoignant de l'importante dispersion (-31° à $+3^\circ$).
- La torsion tibiale assimilée à l'angle bord postérieur des plateaux/malléoles est de $27,7^\circ$ (avec un écart type de $\pm 11,6^\circ$), mais là encore la dispersion est très importante ($+9^\circ$ à $+45^\circ$).
- La rotation fémoro-tibiale est en moyenne de type externe $+3^\circ$ (avec un écart type de $\pm 5,47^\circ$) et d'amplitude faible (-7° à $+15^\circ$).

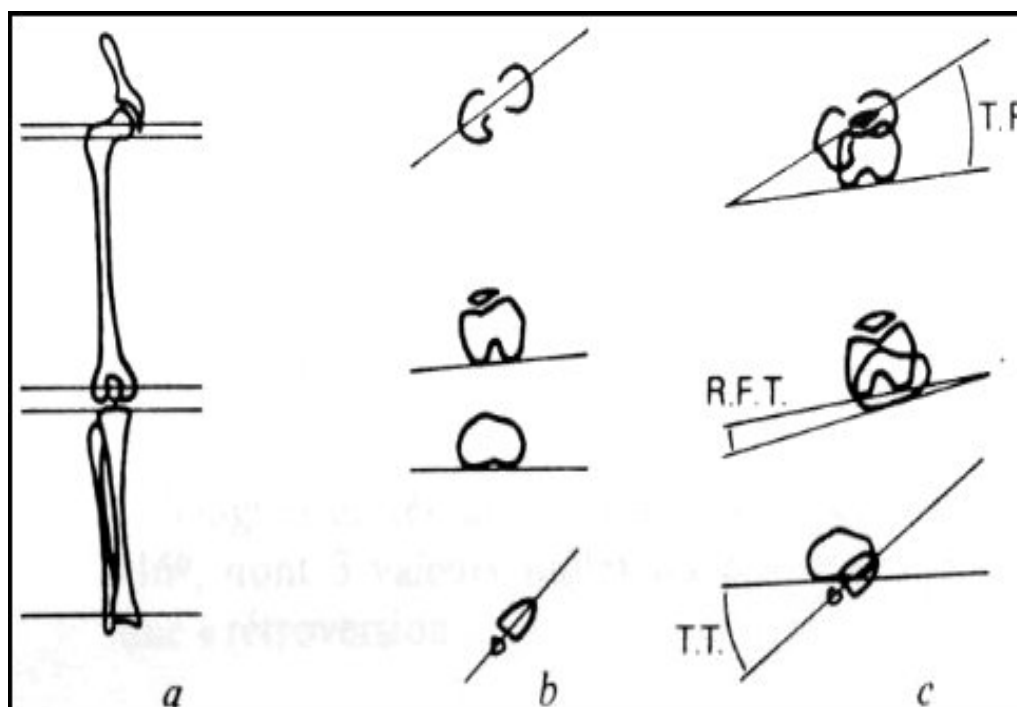


Figure 13 : Torsions osseuses fémorale et tibiale.

- a) niveau des coupes tomodynamétriques.
- b) Tracés des axes.
- c) mesure des angles.

T.F : torsion fémorale ;

T.T : torsion tibiale ;

R.F.T : rotation fémoro-tibiale.

II- RAPPEL BIOMECHANIQUE :

1- GENERALITES

Pour comprendre les déformations articulaires du membre inférieur, il est important de connaître les critères d'alignement normal. Dans l'espace, la disposition des os des membres et des articulations est assez complexe, peut être simplifiée sous forme de lignes droites : (Figure 14-(8))

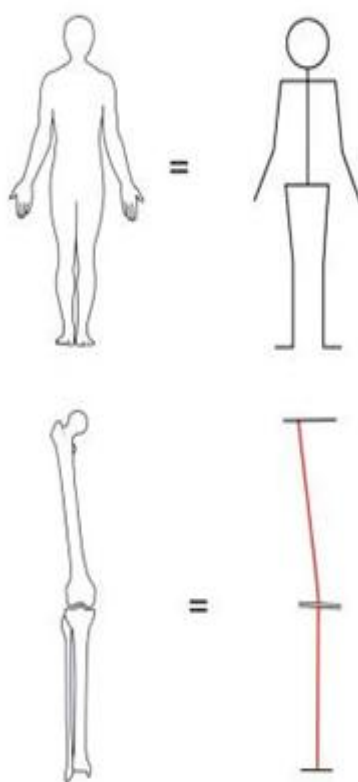


Figure 14 : schématisation simplifiée des axes des membres

Toutes les droites utilisées pour la schématisation des os et des articulations sont dessinées selon deux méthodes : (Figure 15- (8))

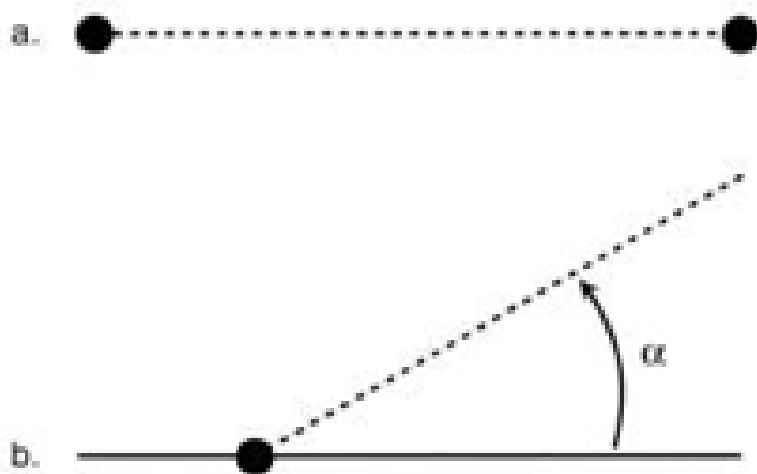


Figure 15 : a) joindre directement 2 points
b) joindre 2 points selon un angle précis

2- Axes du membre inférieur :

Chaque os long est caractérisé par deux axes : mécanique et anatomique. (Figure 16- (8))

2.1) L'axe mécanique : est défini comme étant la ligne droite aussi bien dans le plan frontal que sagittal joignant les centres mécaniques des articulations proximale et distale délimitant un os long. (8)

2.2) L'axe anatomique : est la ligne de symétrie qui peut être droite ou courbée (ex : fémur) (8)

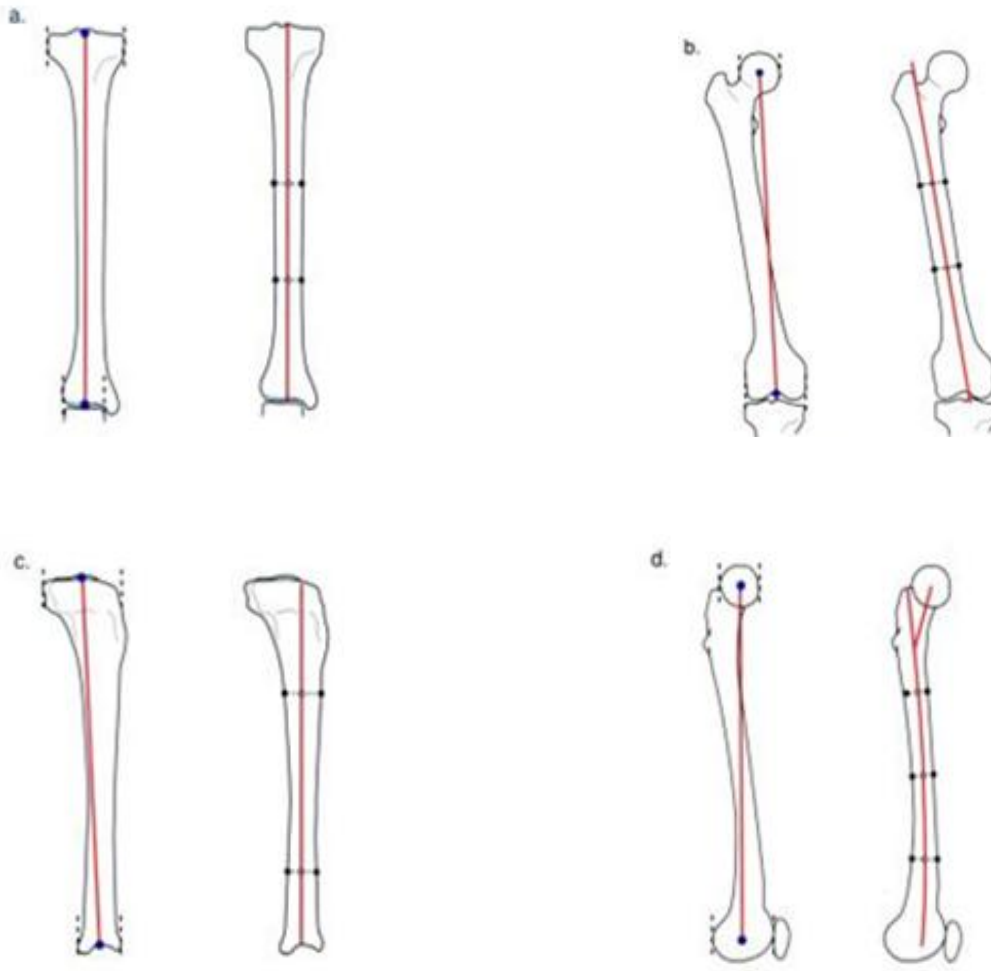


Figure 16 : Axes mécaniques et anatomiques des os du membre inférieur

- a) Les axes mécanique et anatomique du tibia sont parallèles
- b) Les axes mécanique et anatomique du fémur convergent près du genou selon un angle de $7^{\circ} \pm 2$
- c) En sagittal, les 2 axes du tibia sont droits
- d) En sagittal, l'axe anatomique du fémur suit une incurvation à concavité postérieure

Au niveau du tibia, et dans le plan frontal, les deux axes mécanique et anatomique sont parallèles séparés de quelques mm : ce qui fait que l'angle tibial anatomo-mécanique égale à 0° . Celui du fémur, est estimé à $7^\circ \pm 2$ vue que les deux axes sont différents et convergent en distal. (Figure 17- (8))

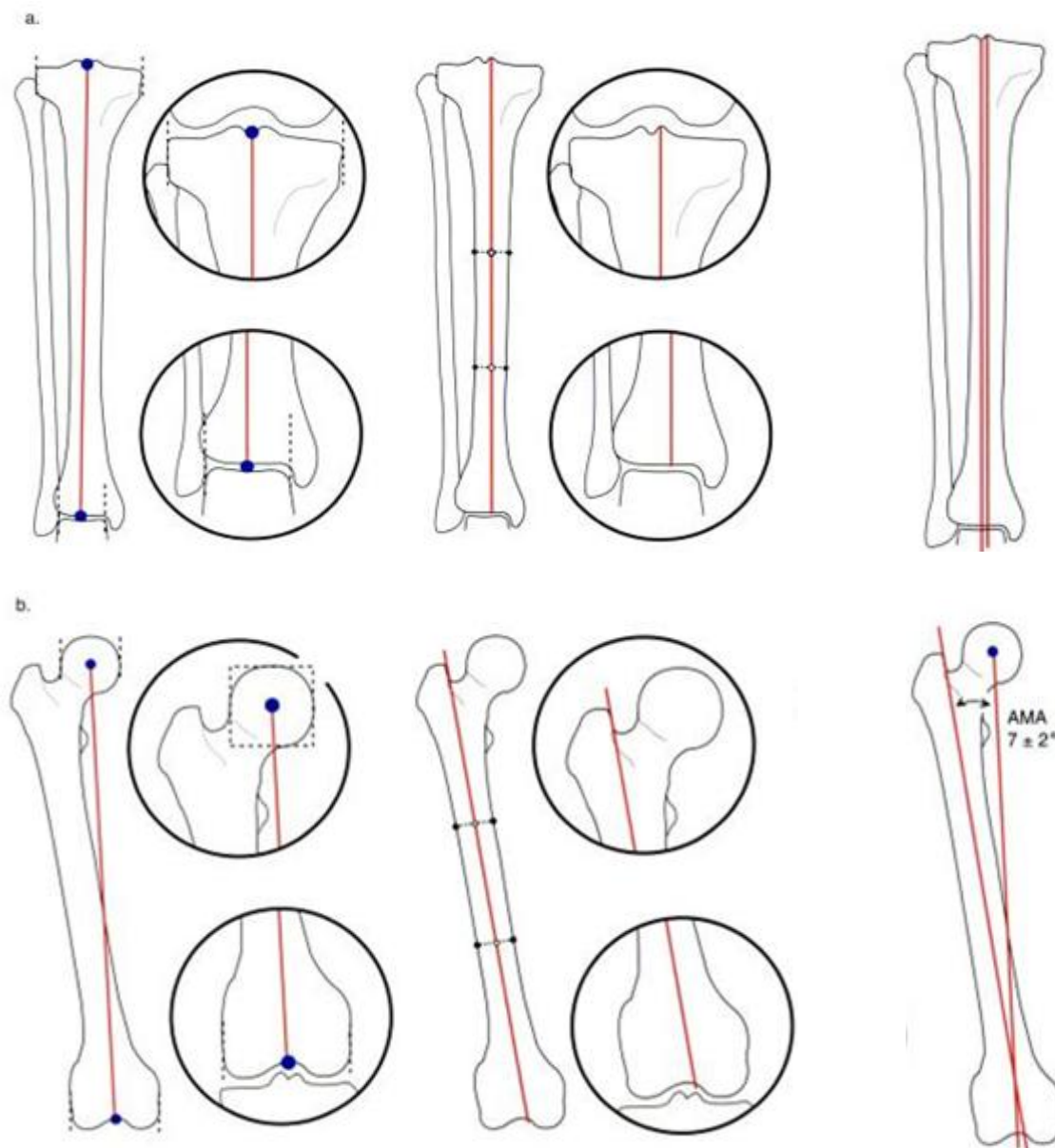


Figure 17 : axes mécanique et anatomiques du membre inférieur

- a) Axes du tibia sont parallèles séparés de quelques mm
- b) Axes du fémur convergent pour s'inter sectionner à 1 cm en dedans du centre du genou

3- Centres articulaires : (hanche + genou + cheville)

Grace aux études de Moreland et al (1987), les centres des articulations du membre inférieur sont définis comme suit :

3.1) Pour la hanche :

Il correspond au centre de la tête fémorale dessiné selon la technique de Mose. (Figure 18- (8))

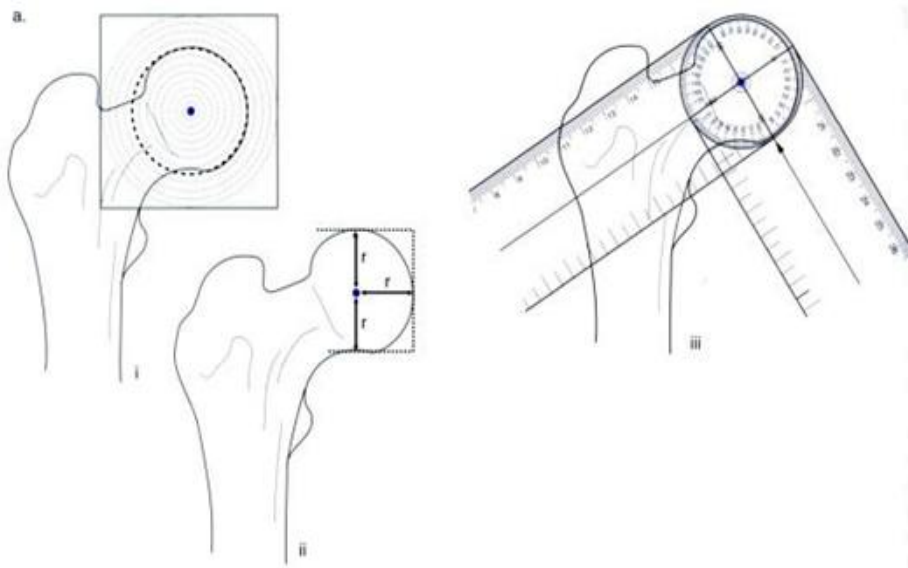


Figure 18 : a.i) centre de la hanche selon la technique des cercles de Mose

a.ii) centre de la hanche selon la technique du diamètre

3.2) Pour le genou :

Moreland a décrit 5 points dont la différence n'est pas significative et que sont : (Figure 19- (9))

- L'apex de l'échancrure inter condylienne
- Le milieu du segment bi condylien
- Le centre des épines tibiales
- Le milieu du segment étendu entre les tissus mou interne et externe
- Le milieu des plateaux tibiaux

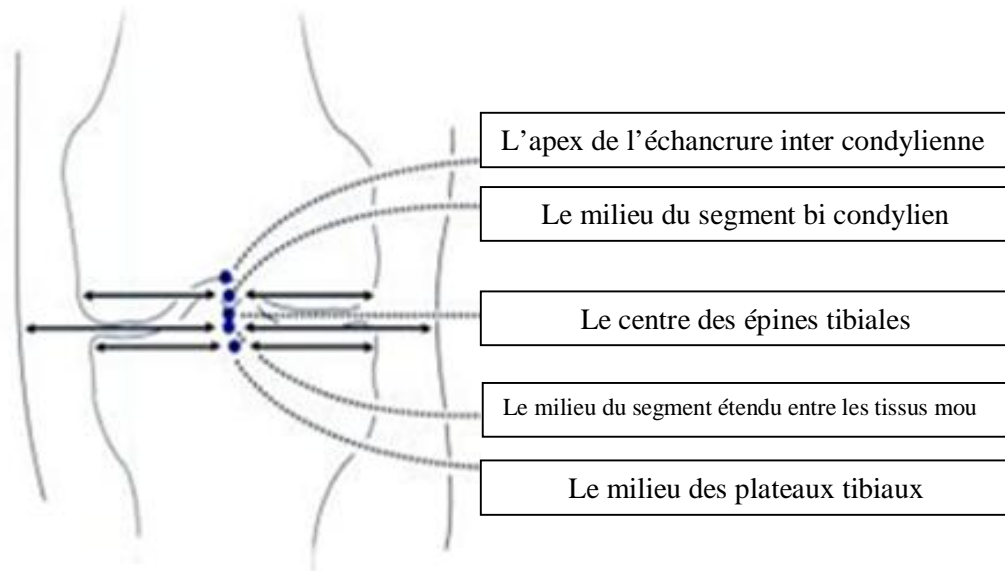


Figure 19 : les points qui représentent le centre du genou selon Moreland

3.3) Pour la cheville :

De la même façon, le centre de la cheville se dessine comme suit : (Figure 20- (9))

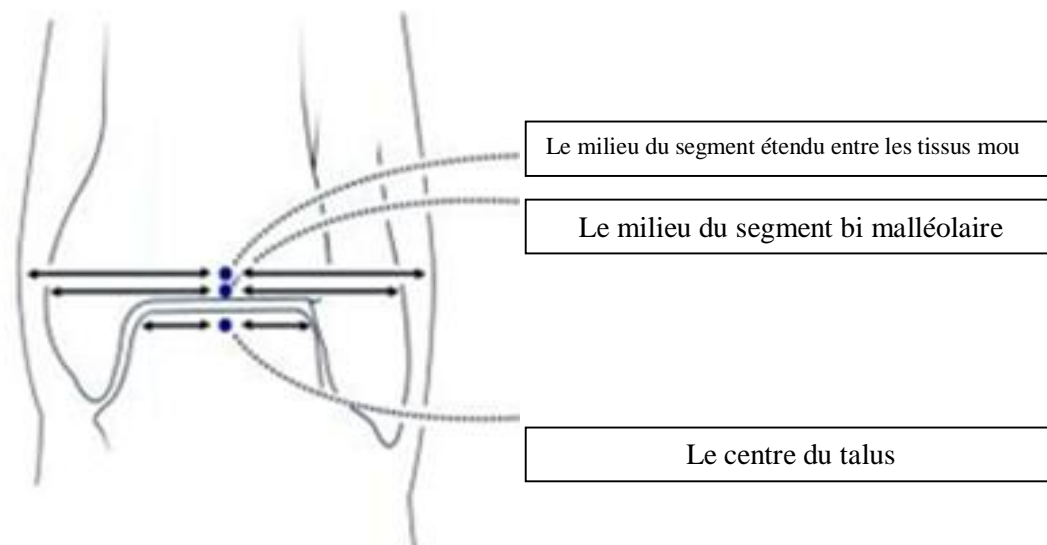


Figure 20 : centre de la cheville est l'un des 3 points suivants :

- Le milieu du segment bi malléolaire
- Le centre du talus
- Le milieu du segment étendu entre les tissus mou interne et externe

4- Alignement et désalignement du membre inférieur

4.1) L'orientation d'une articulation :

Dans un plan donné, elle est représentée par des lignes qui permettent de mesurer par rapport aux axes mécaniques des os longs du membre inférieur des angles qui définissent le morphotype du membre qui normalement répond aux mesures suivantes : (Figure 21- (8))

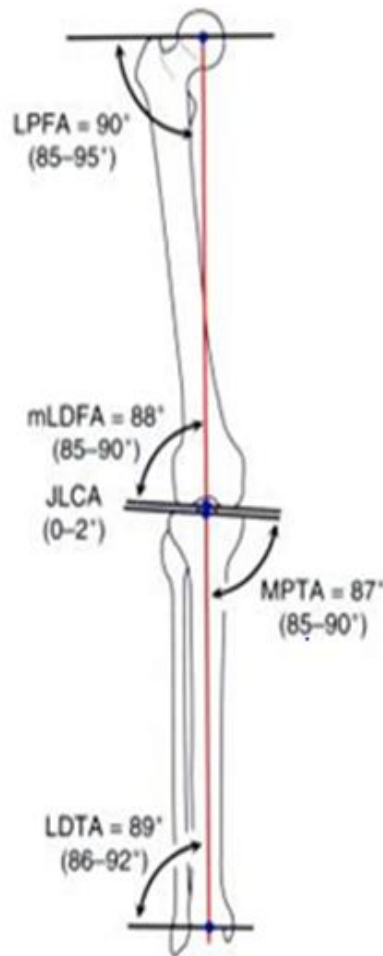


Figure 21 : l'orientation articulaire du membre inférieur relative aux axes mécaniques dans le plan frontal

- LPFA : orientation de la hanche
- mL DFA : orientation des condyles fémoraux
- MPTA : orientation du plateau tibial
- LD TA : orientation de la cheville

Avec :

Pour la hanche, l'orientation articulaire est la ligne qui relie le centre de la tête fémorale au sommet du grand trochanter. (Figure 22- (8))

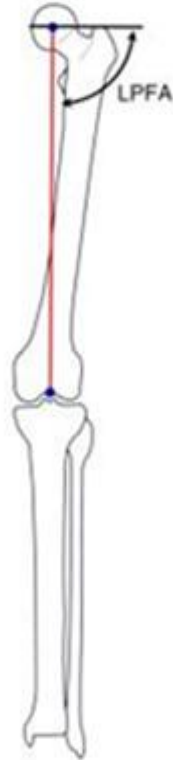


Figure 22 : la ligne d'orientation de la hanche

Bhave et al.	89.4 +/- 4.8°
Chao et al. 1994	94.6 +/- 5.5°
Paley et al. 1994	89.9 +/- 5.2°

L'orientation de l'articulation du genou dépend de l'orientation de l'extrémité inférieure du fémur en léger valgus et l'extrémité supérieure du tibia qui est en léger varus par rapport respectivement aux axes mécaniques correspondants. (Figure 23- (8))

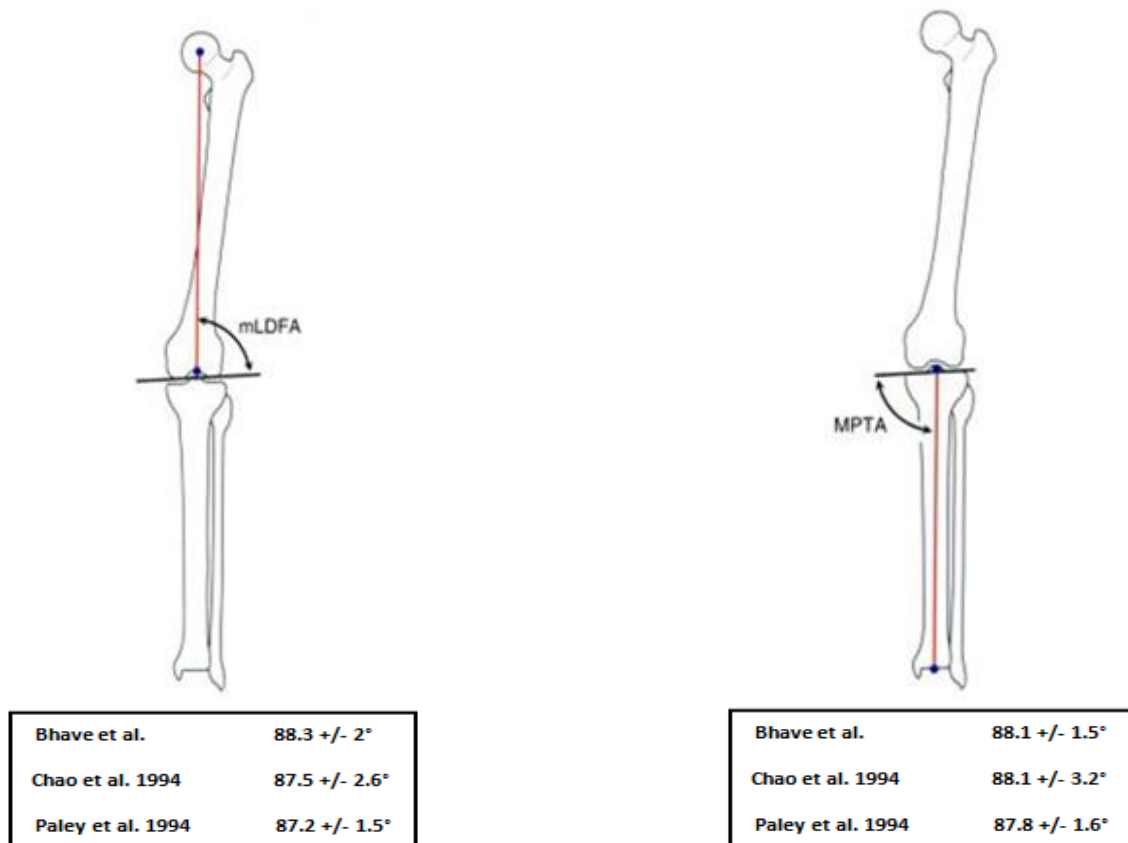
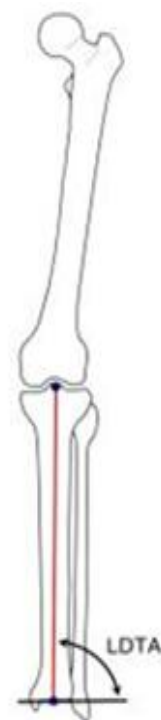


Figure 23 : lignes d'orientation articulaire du genou

Pour la cheville, les études ont démontré qu'elle est en position de valgus pouvant atteindre 8°. (Figure 24- (8))

Bhave et al.	88.7 +/- 2.7°
Chao et al. 1994	87.1 +/- 3.3°
Paley et al. 1994	88.6 +/- 3.8°

Figure 24 : l'orientation de l'articulation de la cheville



4.2) L'alignement artriculaire :

C'est la disposition des articulations (hanche, genou et cheville) entre elles. La ligne joignant les centres des trois articulations : hanche, genou et cheville est appelée axe mécanique du membre inférieur. Ainsi, un mauvais alignement suppose que le centre du genou n'appartient pas à cet axe. En réalité, il existe déjà une distance entre le centre du genou et l'axe mécanique du membre inférieur définissant la déviation axiale normale estimée à 8mm. (Figure 25- (8))

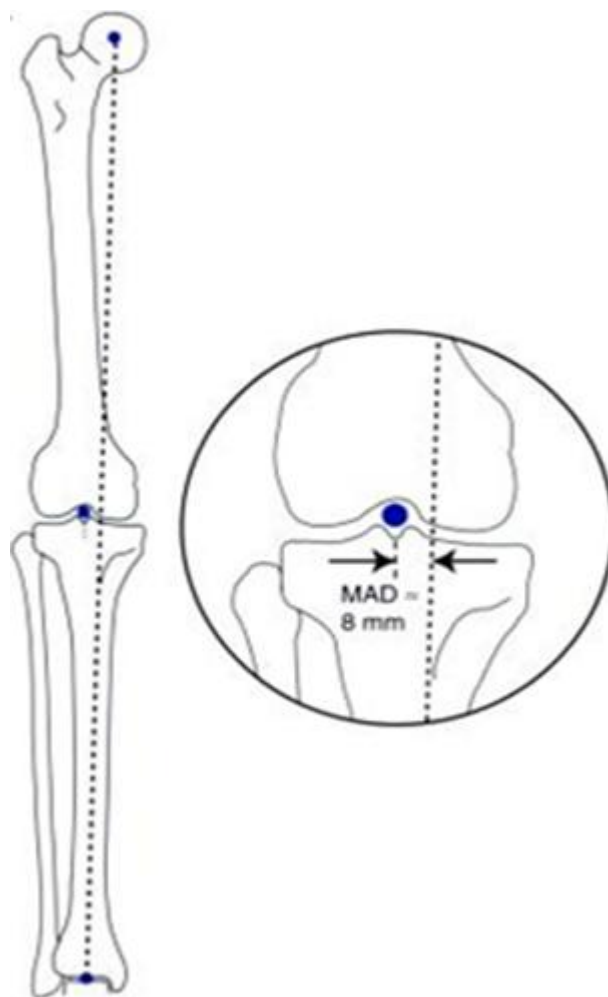


Figure 25 : l'axe mécanique du membre inférieur passe à 8 mm en dedans du centre du genou

4.3) Désalignement articulaire :

Le désalignement du membre inférieur signifie que les centres des trois articulations le constituant ne sont plus sur la même droite (= axe mécanique du membre inférieur). Lorsque le problème siège au niveau du genou l'origine peut être osseuse, inter osseuse ou condylienne (10).

4.3.1) l'origine osseuse :

La ligne d'orientation de l'articulation du genou définie avec les axes mécaniques fémoral et tibial un angle mesurant entre 85 et 90°. L'origine fémorale et/ou tibiale serait incriminée en fonction de l'angle anormal. (Figure 26- (10))

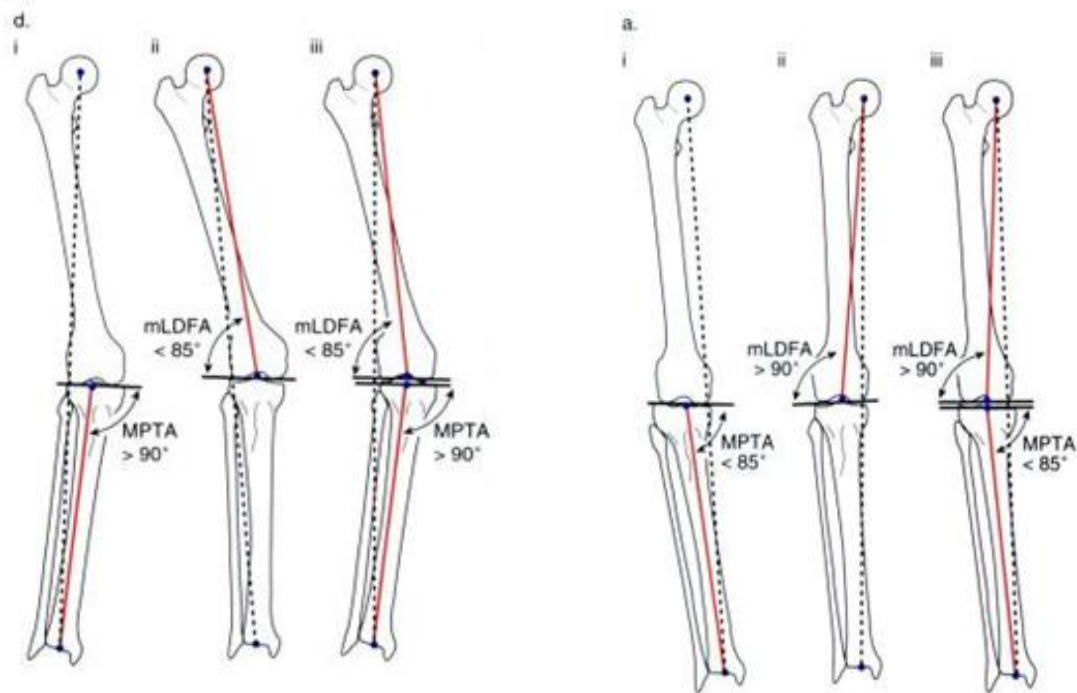


Figure 26:

a) Désalignement d'origine osseuse par varus

- i) Tibial
- ii) Fémoral
- iii) Tibial + fémoral

d) Désalignement d'origine osseuse par valgus

- i) Tibial
- ii) Fémoral
- iii) Tibial + fémoral

4.3.2) L'origine inter osseuse :

Elle correspond à une laxité et / ou dégénération cartilagineuse interne ou externe, elle est évoquée dans deux situations :

- Lorsque l'angle formé entre les deux lignes articulaires du genou fémoral et tibial est supérieur à 2° . (Figure 27- (10))

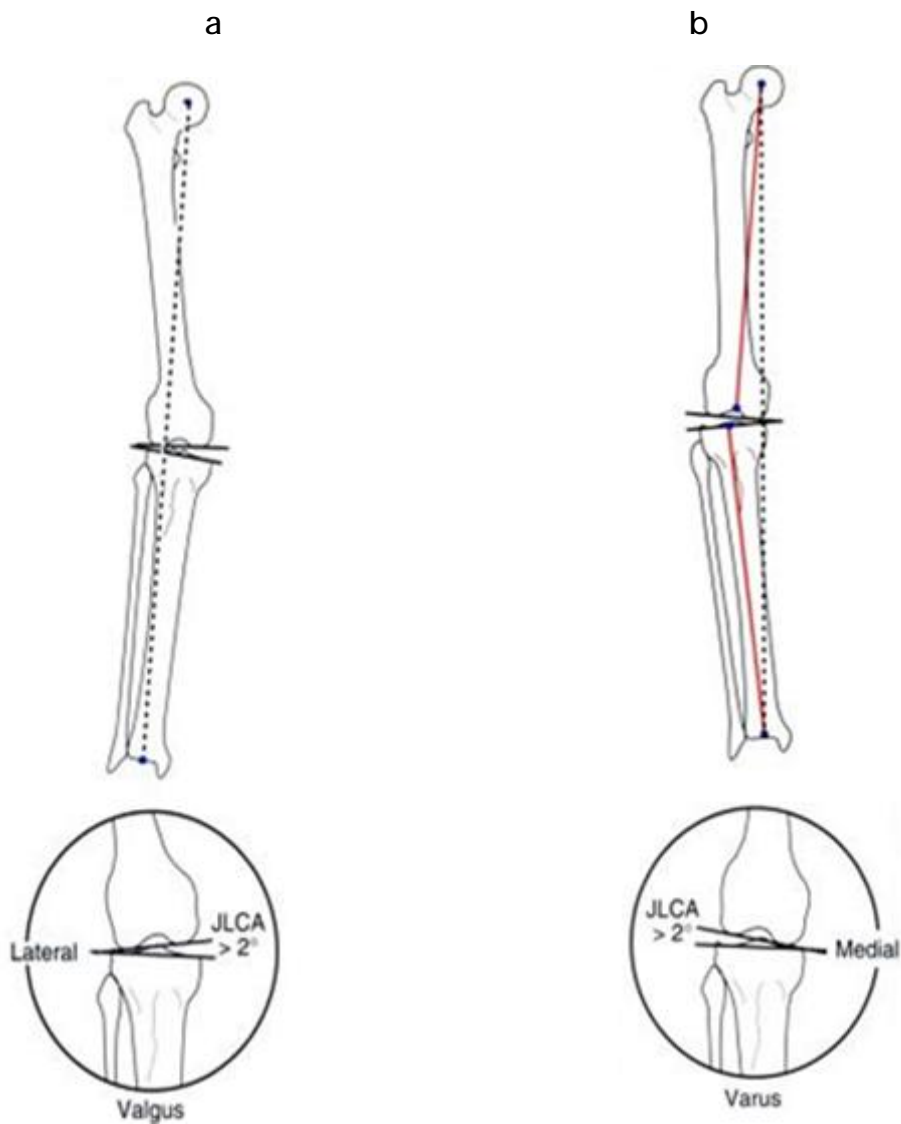


Figure 27 : désalignement d'origine ligamentaire ou cartilagineuse

a) laxité latérale

b) laxité interne

- Et lorsque la distance séparant le milieu de la ligne articulaire fémorale de celui tibial dépasse 3 mm : ce qui correspond à une sub luxation du tibia sur le fémur. (Figure 28- (10))

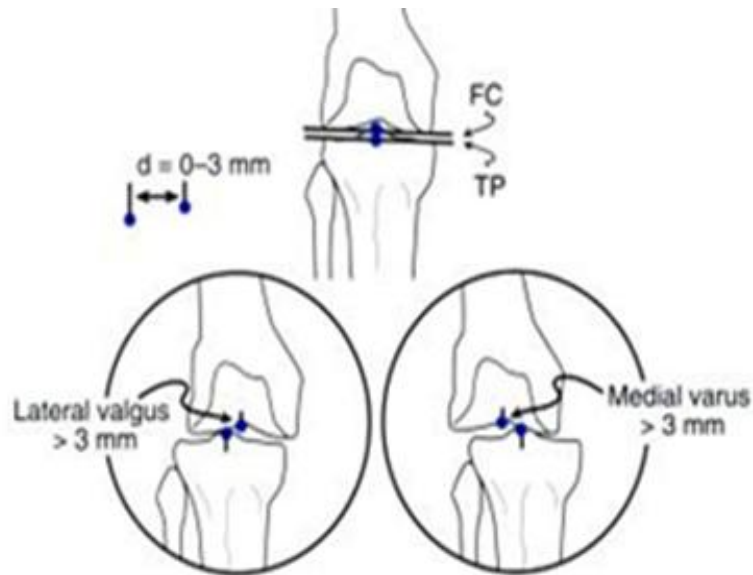
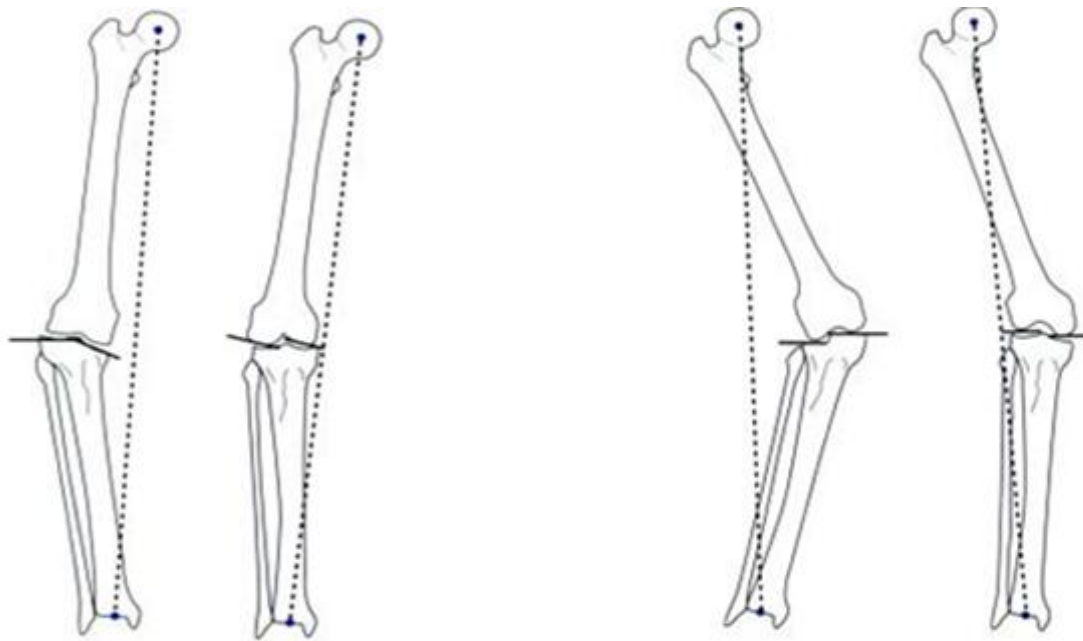


Figure 28 : désalignement par sub luxation

4.3.3) L'origine condylienne :

La déviation frontale du membre inférieur est d'origine condylienne lorsqu' il existe une marche d'escalier ou une angulation entre les deux semi lignes formant chacune les deux lignes d'orientation articulaire du genou (10). (Figure 29)



a)

b)

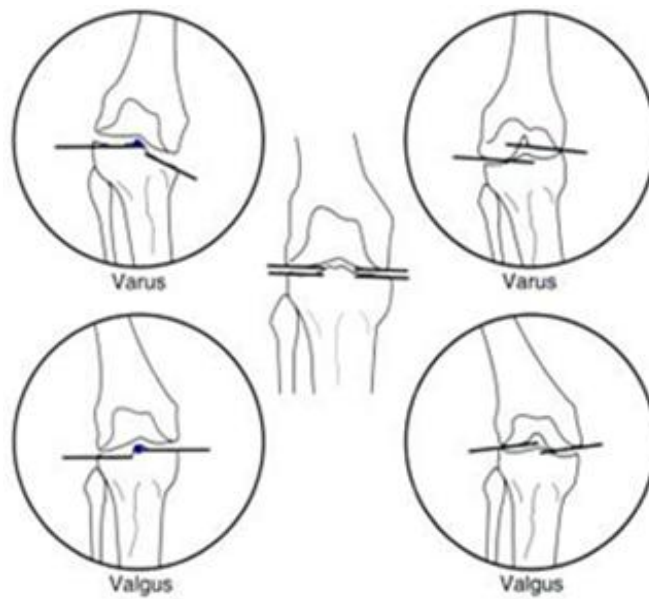


Figure 29 : désalignement d'origine condylienne

a) dépression ou mauvaise orientation du plateau tibial / condyle interne

b) dépression ou mauvaise orientation du plateau tibial / condyle externe

DEUXIEME PARTIE

I- OBJECTIFS :

Ce travail a comme but :

- D'établir des formules mathématiques qui quantifient le déplacement des centres du genou aussi bien mécanique qu'anatomique après une ostéotomie tibiale de valgisation par ouverture interne (OTV). Celles-ci seraient un outil de planification pré opératoire et de vérification post opératoire de la qualité du geste.

II- METHODES :

Le déplacement du centre du genou après OTV par ouverture interne correspond à une distance qu'on a calculée grâce à 4 théorèmes mathématiques :

- 1- Théorème de THALES
- 2- Loi des sinus dans un triangle
- 3- Fonctions trigonométriques
- 4- Angles à sommet opposés

Appliquées sur plusieurs triangles dessinés sur un pan goniomètre.

1- Rappel mathématique :

1.1) Loi des Sinus :

En trigonométrie, la loi des sinus est une relation de proportionnalité entre les longueurs des côtés d'un triangle et les sinus des angles respectivement opposés.

(Figure 30)

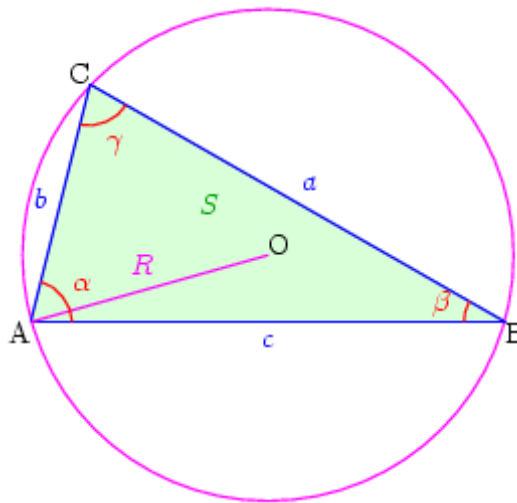


Figure 30

- $a = BC$ et $\alpha =$ angle formé par $[AB]$ et $[AC]$;
- $b = AC$ et $\beta =$ angle formé par $[BA]$ et $[BC]$;
- $c = AB$ et $\gamma =$ angle formé par $[CA]$ et $[CB]$.

La formule dite des sinus est alors:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

1.2) Fonctions trigonométriques :

Dans un triangle rectangle (Figure 31) les cotés sont appelés comme suit :

- L'hypoténuse : c'est le côté opposé à l'angle droit, une jambe de l'angle \hat{A} et le côté le plus long du triangle,
- Le côté opposé : c'est le côté opposé à l'angle \hat{A} , qui nous intéresse,
- Le côté adjacent : c'est le côté qui est une jambe de l'angle \hat{A} , qui n'est pas l'hypoténuse

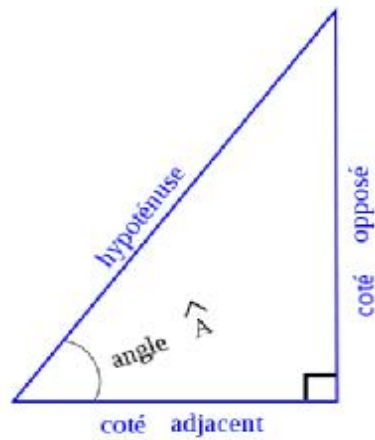


Figure 31

- a) Le sinus d'un angle est le rapport de la longueur du côté opposé par la longueur de l'hypoténuse : $\sin(\hat{A}) = \text{longueur du côté opposé} / \text{longueur de l'hypoténuse} = o/h$. (Figure 32)

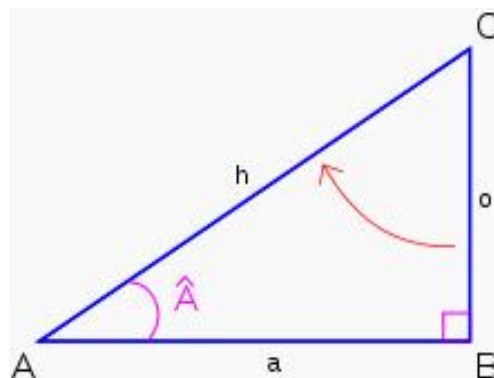


Figure 32

- b) Le cosinus d'un angle est le rapport de la longueur du côté adjacent par la longueur de l'hypoténuse : $\cos(\hat{A}) = \text{longueur de côté adjacent} / \text{longueur de l'hypoténuse} = a/h$. (Figure 33)

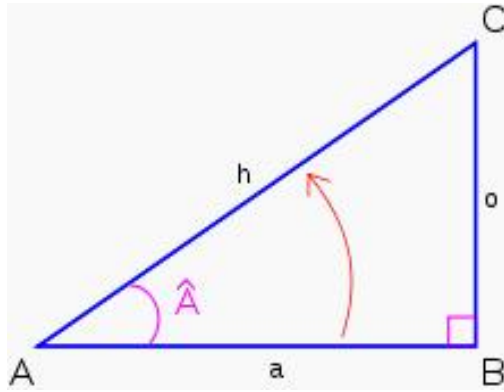


Figure 33

c) La tangente d'un angle est le rapport de la longueur du côté opposé à la longueur du côté adjacent : $\tan(\hat{A}) = \text{longueur du côté opposé} / \text{longueur du côté adjacent} = o/a$. (Figure 34)

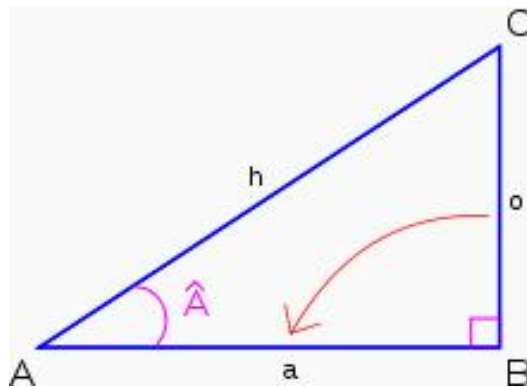


Figure 34

1.3) Théorème de Thalès :

En pratique, le théorème de Thalès permet de calculer des rapports de longueurs et de mettre en évidence des relations de proportionnalité en présence de parallélisme (Figure 35). Théorème de Thalès : Soit un triangle ABC, et deux points D et E des droites AB et AC de sorte que la droite DE soit parallèle à la droite BC. Alors on a :

$$\frac{AD}{AB} = \frac{AE}{AC} = \frac{DE}{BC}$$

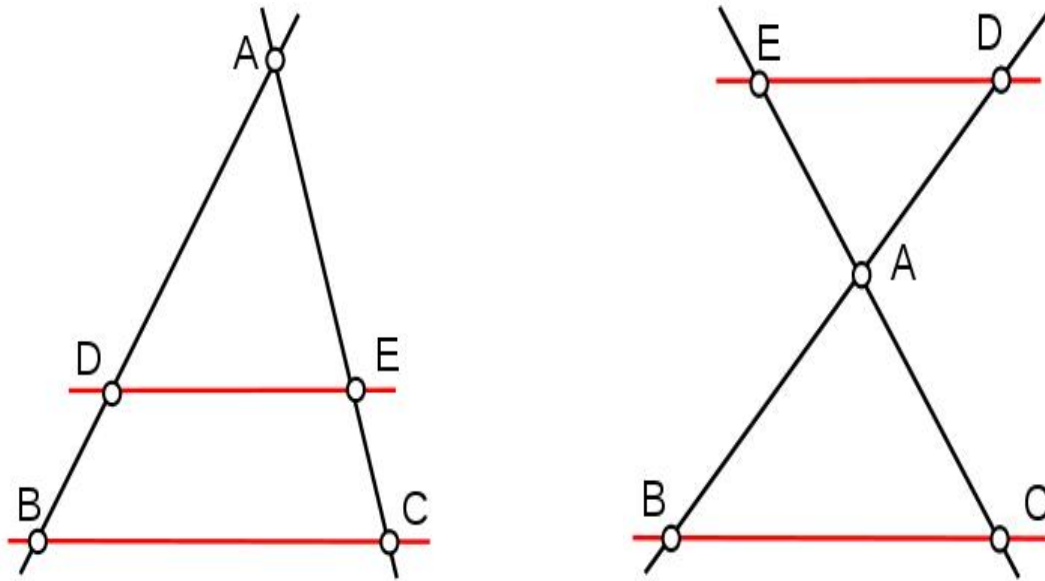


Figure 35

1.4) Angles opposés par le sommet :

On appelle angles opposés par le sommet (Figure 36) 2 angles qui possèdent :

- Le même sommet
- Des cotés symétriques par rapport au sommet
- Dans ce cas les 2 angles sont égaux

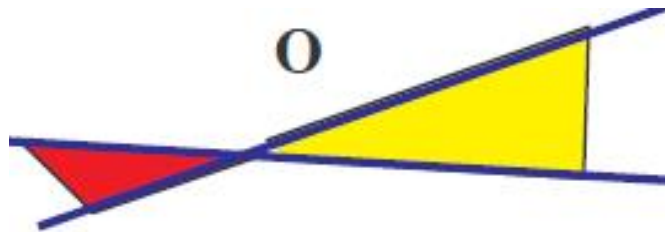


Figure 36

1.5) Angles d'un triangle :

Dans un triangle ABC quelconque (Figure 37) :

- La somme des mesures de ces trois angles vaut 180°
- C'est-à-dire :

$$\beta + \delta + \lambda = 180^\circ$$

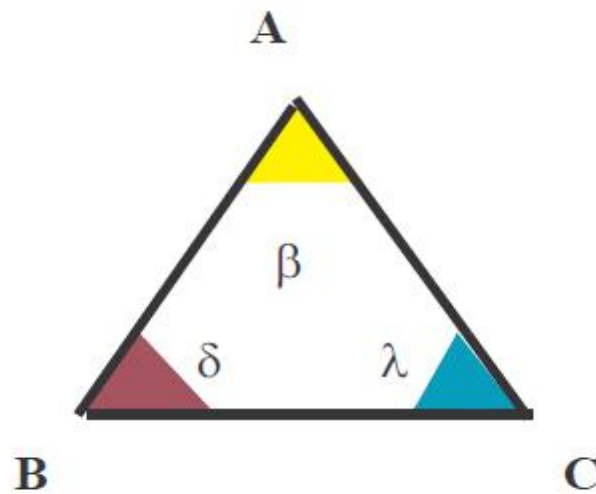


Figure 37

2- Démonstration :

2.1) Déplacement du centre mécanique

Soit sur la figure 38 :

A : centre de la hanche

B : centre du genou initial

B' : centre du genou après correction du varus

B'' : centre du genou final après OTV

C : centre de la cheville initiale

C' : centre de la cheville final (post opératoire)

G : intersection du segment B'C avec la coupe d'ostéotomie

H : intersection de l'axe mécanique AC avec la coupe d'ostéotomie

E : intersection de l'axe mécanique 0° avec la coupe d'ostéotomie

I : intersection de l'axe mécanique AC' avec la coupe d'ostéotomie

M : longueur de l'ostéotomie / 2

L1 : longueur du fémur = AB'

L2 : longueur du tibia = B'C

d : distance séparant le plateau du niveau de l'ostéotomie

I : distance B'G

α : l'angle du varus

β : l'angle du valgus

δ : l'angle de correction

C'B' : la longueur du tibia après OTV = B'C'

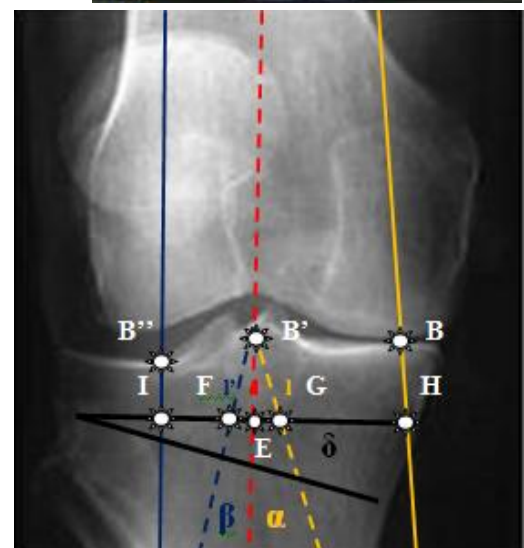


Figure 38

Le déplacement du centre mécanique du genou après l'OTV correspond à la distance BB'' dont le calcul se fait comme suit :

- Dans le triangle AHE : (Figure 39)

En appliquant le théorème de Thalès :

$$BB' = EH * (L1 / (L1 + d))$$

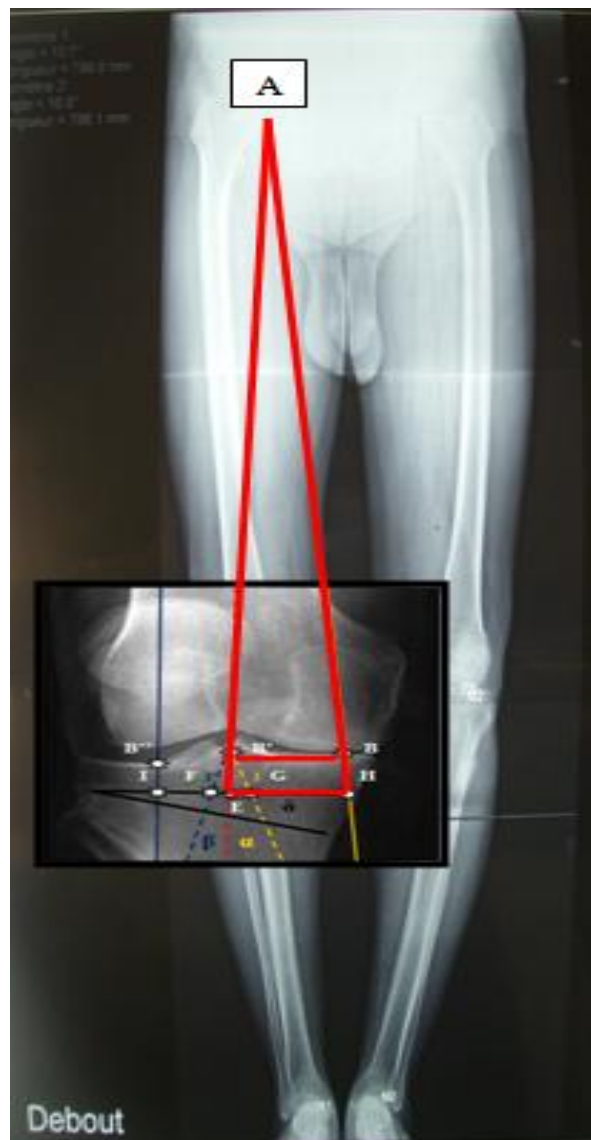


Figure 39

- Dans le triangle BB'C : (Figure 40)

$$BB' = L2/L2-I * GH$$

$$\left\{ \begin{array}{l} GH = EH - x \\ X = I * \sin \alpha \\ EH = d \sin \alpha / (1 - L1 (L2-I) / L2 (L1+d)) \end{array} \right.$$

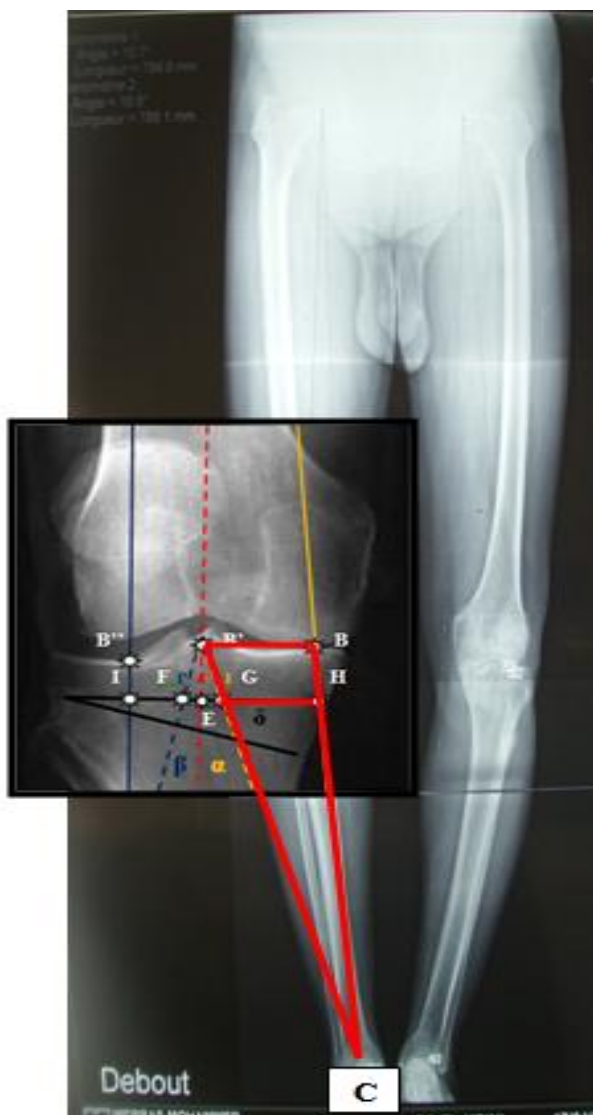
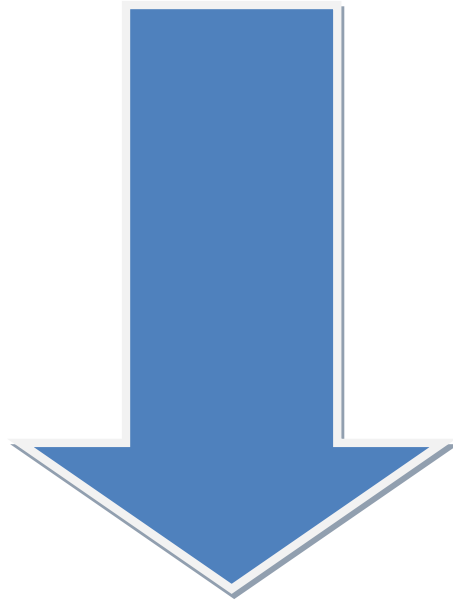


Figure 40



$$BB' = (d L1 L2 \operatorname{tg} \alpha (L1 + d)) / (L2 (L1 + d) - L1 (L2 - d / \operatorname{Cos} \alpha))$$

(1)

Avec BB': le déplacement du centre du genou de la position préopératoire jusqu'à un angle HKA à 180°.

- Dans le triangle AEI: (Figure 41)

$$B'B'' = L1 (IF + d \operatorname{tg} \beta) / (L1 + d)$$



Figure 41

- Dans le triangle B'B''C': (Figure 42)

$$B'B'' = IF * (C'B' / (C'B' - d / \cos\beta))$$

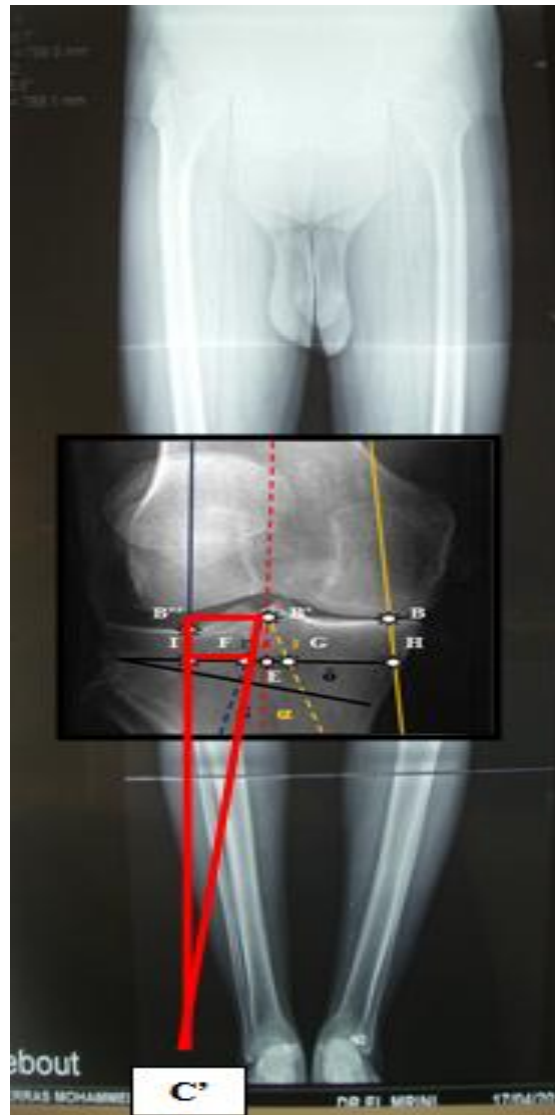


Figure 42

$$IF = (L1 d \operatorname{tg} \beta / L1 + d) / ((C'B' / (C'B' - d / \operatorname{Cos} \beta)) - (L1 / (L1 + d)))$$



$$B'B'' = \left[\frac{C'B'}{C'B' - d / \operatorname{Cos} \beta} \right] * \left[\frac{C'B'}{C'B' - d / \operatorname{Cos} \beta} - \frac{L1}{L1 + d} \right] \quad (2)$$

Et donc à partir de (1) et (2) on déduit notre formule :

$$BB' + B'B'' = \frac{dL1L2 \operatorname{tg} \alpha}{L1l + L2d} + \frac{L1C'B' \operatorname{Sin} \beta}{L1 + C'B' \operatorname{Cos} \beta}$$

Ensuite pour calculer la longueur finale (post opératoire) du tibia (C'B'), on procède ainsi (théorème des sinus): (Figure 41 + 42)

$$\frac{\sin G}{B'C'} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{GC'}$$

$$GC' = \frac{\sin(\alpha + \beta) * B'C'}{\sin G}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G = \gamma + z \\ \gamma = 90 - \alpha \\ z = 90 - \delta/2 \end{array} \right.$$

$$\frac{\sin x}{GC'} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{GC'}$$

$$GC' = \frac{\sin(\alpha + \beta) * l}{\sin x}$$

$$x = \delta/2 - \beta$$

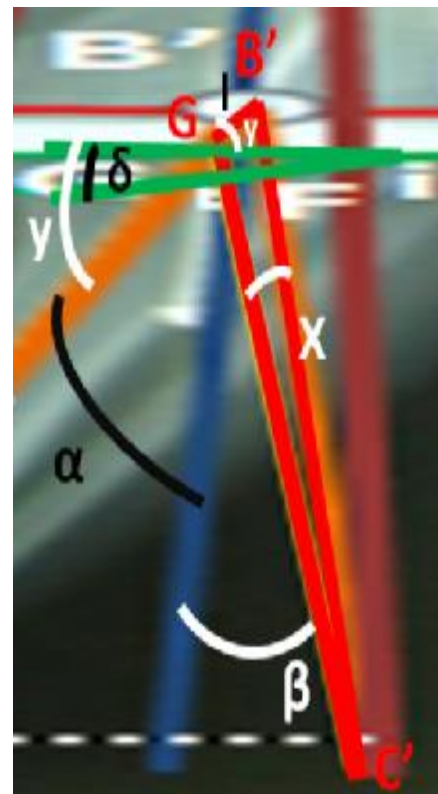


Figure 43



Figure 44

$$B'C' = \frac{\sin(180 - \alpha)}{\sin(\delta - (\alpha + \beta))} * (d + ((\sin \frac{\delta}{2} * 2M \sin \frac{\delta}{2}) / \sin(180 - \delta)))$$

Ainsi, on définit le déplacement du centre mécanique du genou après l'OTV par la formule suivante :

$$BB' + B'B'' = \frac{dL_1L_2\text{tg}\alpha}{L_1l + L_2d} + \frac{L_1C'B'\text{Sin}\beta}{L_1 + C'B'\text{Cos}\beta}$$

Avec :

$$B'C' = \frac{\text{Sin}(180 - \alpha)}{\text{Sin}(\delta - (\alpha + \beta))} * (d + \left(\text{Sin}\frac{\delta}{2} * 2M\text{Sin}\frac{\delta}{2}\right) / \text{Sin}(180 - \delta))$$

2.2) Déplacement du centre anatomique du genou après l'OTV : (Figure 45)

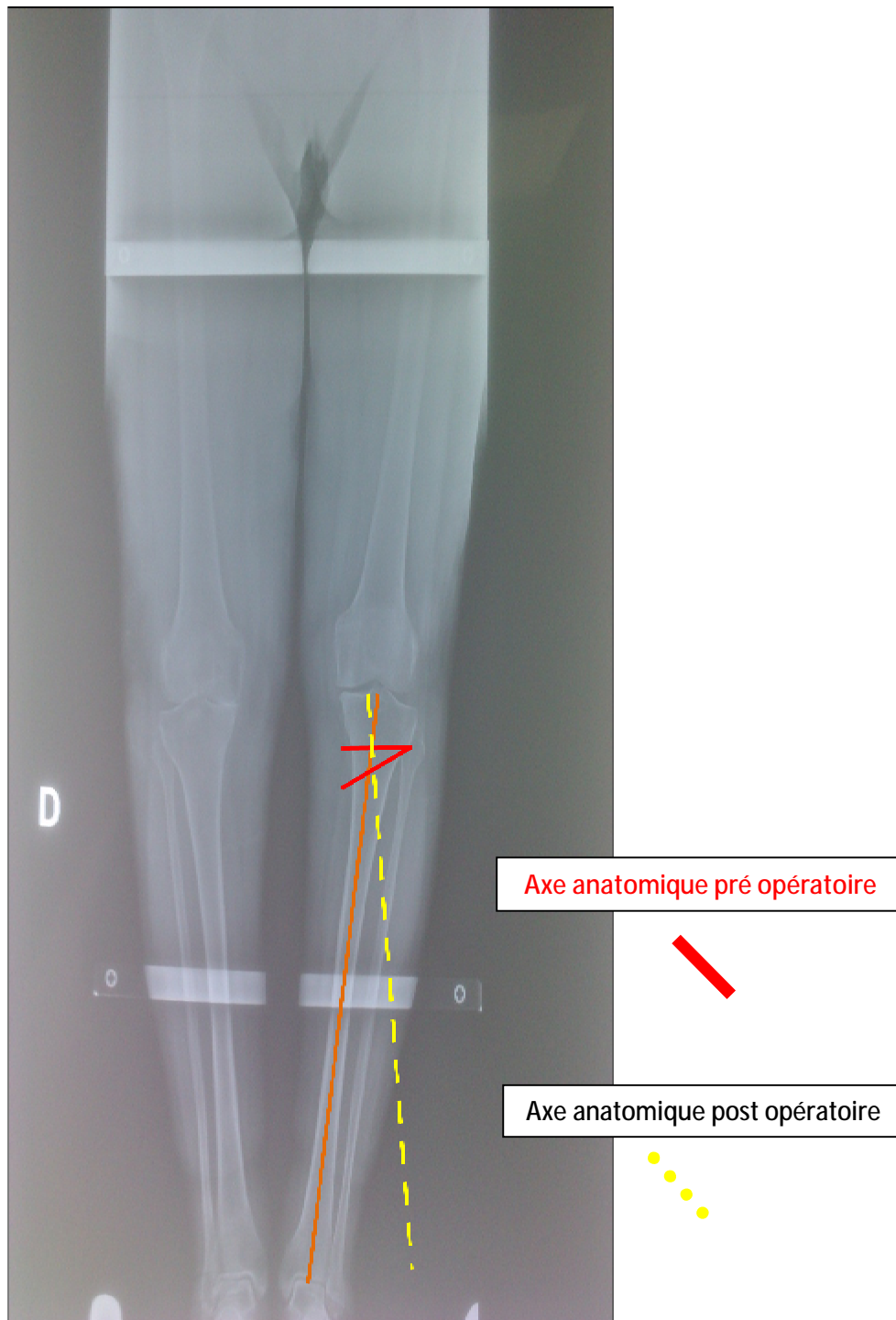


Figure 45

On a:

$$AB = d + AE \quad \longrightarrow \quad AE ?$$

Avec d : la distance de l'ostéotomie par rapport au plateau tibial

A partir du schéma suivant : (Figure 47)

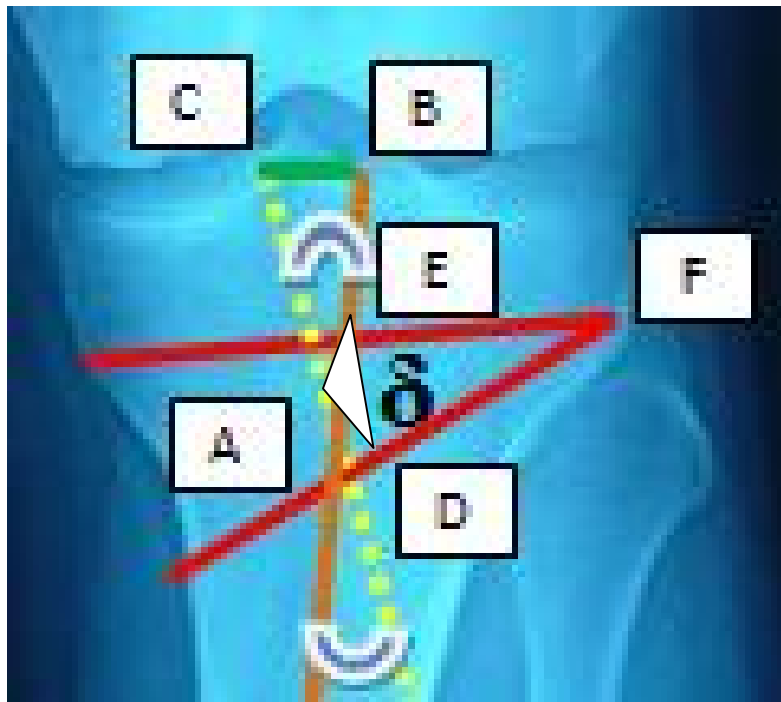


Figure 47

On considère le triangle ADE dans lequel on applique le théorème des Sinus pour écrire :

$$\begin{aligned} \frac{AE}{\sin D} &= \frac{ED}{\sin A} \\ \Rightarrow AE &= ED * \left(\frac{\sin A}{\sin D} \right) \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} A = 180^\circ - \delta / E = 180 - (90 + (180 - \delta / 2)) \\ D = 180 - (A + E) / ED = 2M \sin \delta / 2 \\ 2M : \text{la longueur de la coupe de l'ostéotomie.} \end{array} \right.$$

Ainsi le centre anatomique du genou post opératoire se déplace selon la formule suivante :

$$BC = \frac{\sin \delta}{\sin(90 - \delta)} * (d + ((2M \sin \frac{\delta}{2}) * (\frac{\sin D}{\sin A})))$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 180^\circ - \delta \\ E = 180 - (90 + (180 - \delta / 2)) \\ D = 180^\circ - (A + D) \end{array} \right.$$

En résumé, notre étude mathématique de l'effet de l'OTV par ouverture interne sur les centres du genou, confirme le déplacement de ces derniers. Un déplacement qui est vers :

- Le compartiment externe pour le centre mécanique selon la formule suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} BB' + B'B'' = \frac{dL1L2 \operatorname{tg} \alpha}{L1 + L2d} + \frac{L1C'B' \sin \beta}{L1 + C'B' \cos \beta} \\ B'C' = \frac{\sin(180 - \alpha)}{\sin(\delta - (\alpha + \beta))} * (d + ((\sin \frac{\delta}{2} * 2M \sin \frac{\delta}{2}) / \sin(180 - \delta))) \end{array} \right.$$

- Le compartiment interne pour le centre anatomique selon l'équation :

$$\left\{ \begin{array}{l} BC = \sin * / \sin(90^\circ - *) * (d + (2M \sin * / 2) * (\sin D / \sin A)) \\ \left\{ \begin{array}{l} A = 180^\circ - * \\ E = 180^\circ - (90 + (180 - * / 2)) \\ D = 180^\circ - (A + E) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

III- RESULTATS

à travers notre étude mathématique on a pu confirmer et quantifier le déplacement des centres mécanique et anatomique du genou après l'OTV par ouverture interne.

1- Pour le centre mécanique :

Il se porte en dehors vers le compartiment externe, ce qui crée une nouvelle répartition de charges soulageant le compartiment interne. (Figure 48)

$$BB' + B'B'' = \frac{dL_1L_2\text{tg}\alpha}{L_1 + L_2d} + \frac{L_1C'B'\text{Sin}\beta}{L_1 + C'B'\text{Cos}\beta}$$

Avec :

$$B'C' = \frac{\text{Sin}(180 - \alpha)}{\text{Sin}(\delta - (\alpha + \beta))} * (d + ((\text{Sin}\frac{\delta}{2} * 2M\text{Sin}\frac{\delta}{2}) / \text{Sin}(180 - \delta)))$$

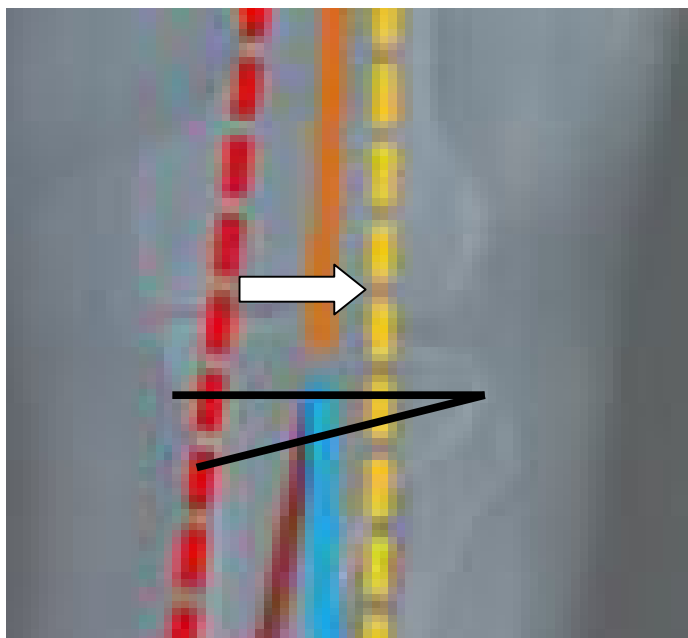
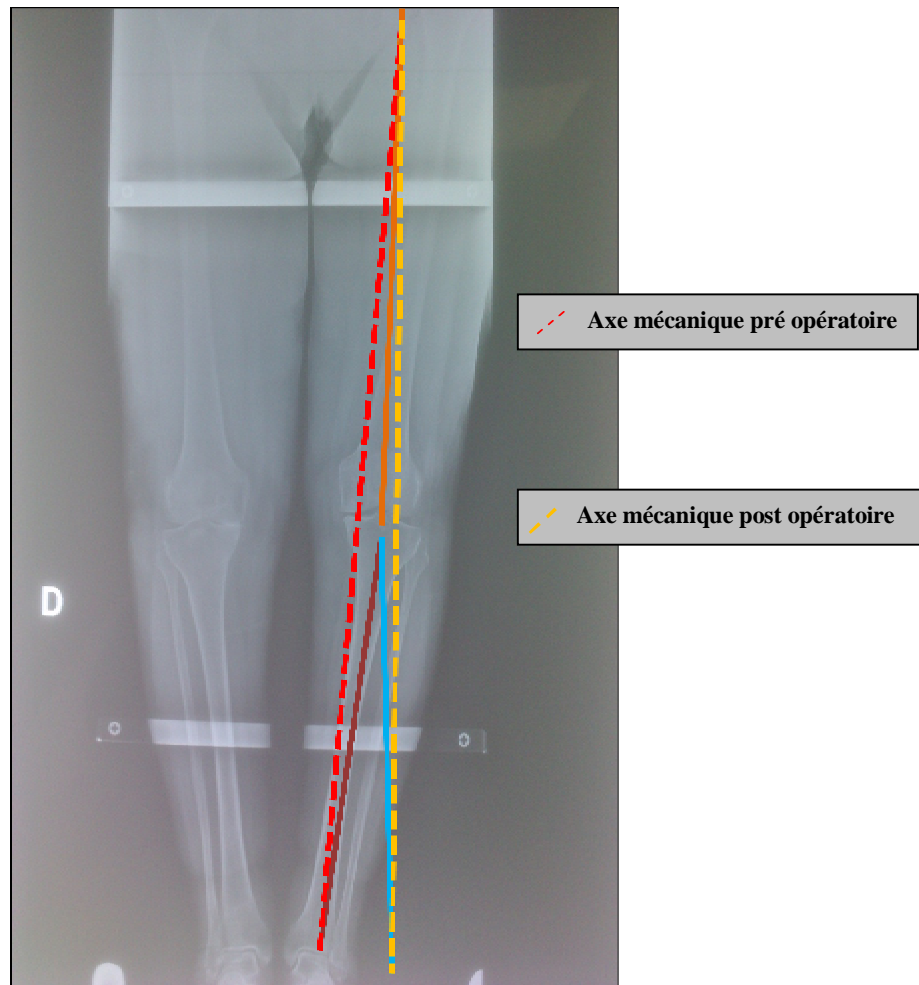


Figure 48

2- Pour le centre anatomique :

Il se déplace dans le sens opposé à celui du centre mécanique (vers le compartiment interne- Figure 49), selon l'équation suivante :

$$BC = \sin \alpha / \sin(90^\circ - \alpha) * (d + (2M \sin \alpha / 2)) * (\sin D / \sin A)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} A = 180^\circ - \alpha \\ E = 180^\circ - (90 + (180 - \alpha / 2)) \\ D = 180^\circ - (A + E) \end{array} \right.$$

Ce déplacement correspond au passage du genu varum au genu valgum.

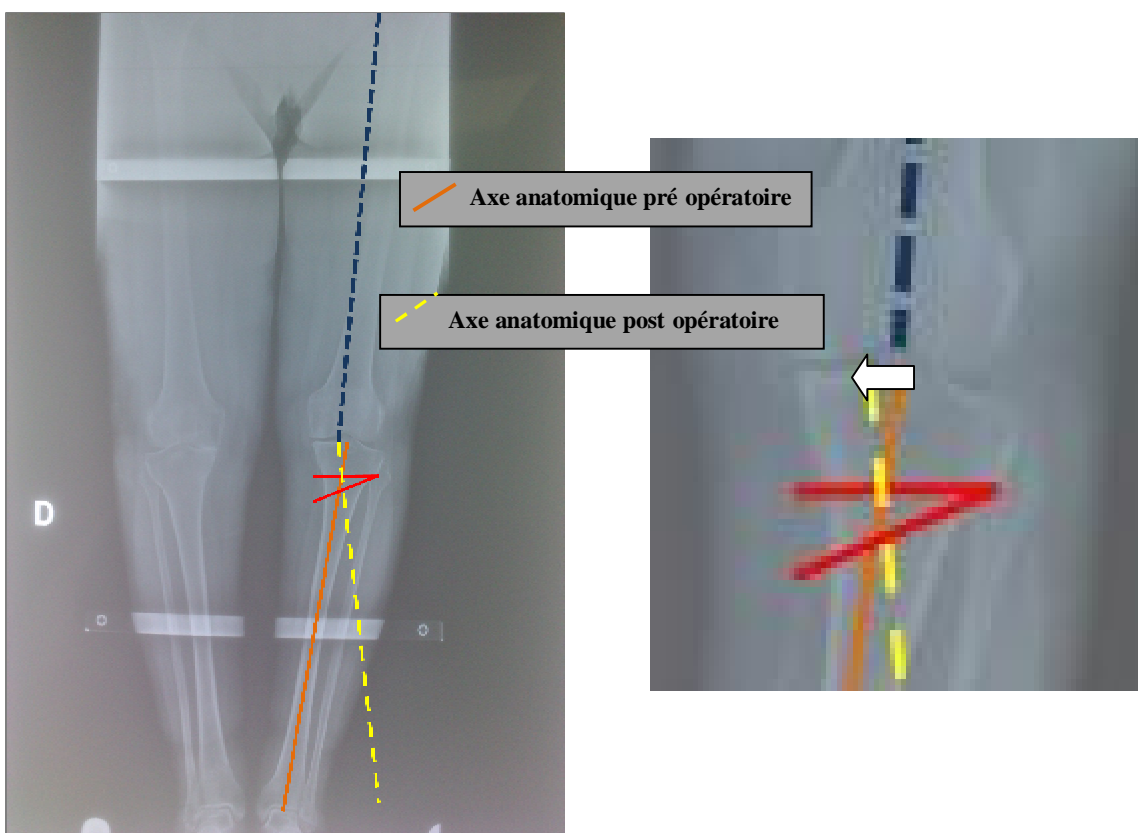


Figure 49

3- Intérêt pratique :

Les équations mathématiques établies, permettraient une planification préopératoire de l'OTV ainsi qu'une vérification postopératoire de la qualité du geste.

La planification préopératoire consisterait à calculer grâce à notre formule mathématique, le déplacement théorique du centre du genou qui correspond à son positionnement post opératoire en fonction des différents paramètres, dans le but de corriger le varus et d'atteindre un valgus entre 3 et 6°(2).

En postopératoire, on pourrait comparer le centre déterminé géométriquement par l'intersection entre l'axe mécanique du membre inférieur opéré et la ligne articulaire du genou tangente au plateau tibial, et celui calculé numériquement par notre formule à la recherche d'une différence Qui peut signifier

L'hypercorrection : (Figure 50)



Figure 50

Ou l'hypo correction : (Figure 51)

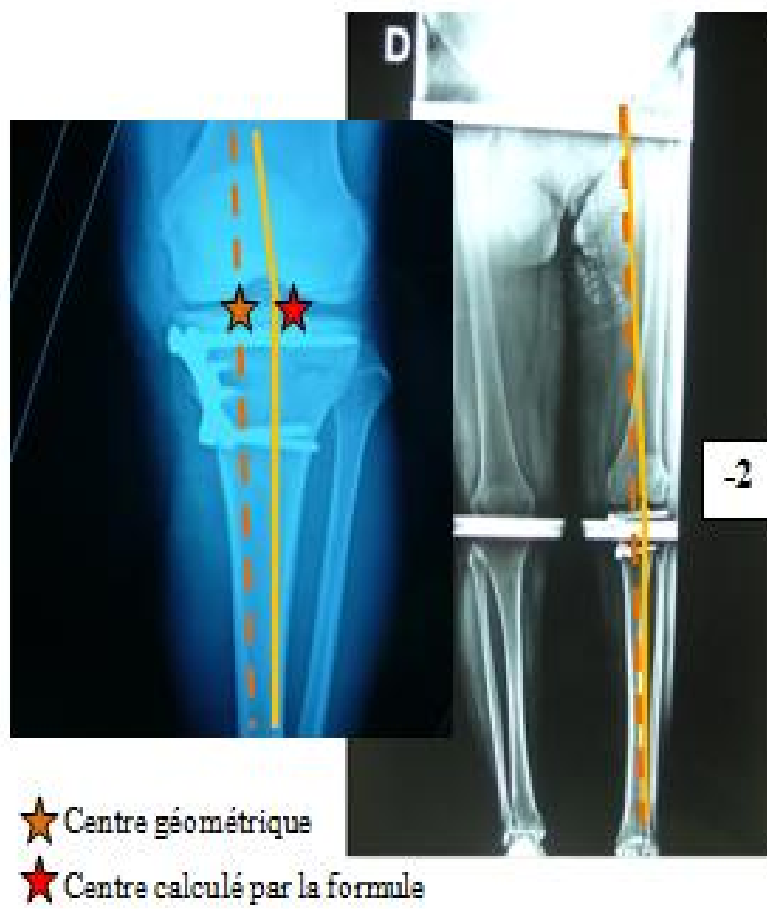


Figure 51

IV- DISCUSSION

1- Biomécanique du genou normal :

Le genou normal est en état d'équilibre selon l'équation $P.A = M.B$. L'équilibre du genou est réalisé si l'effort musculaire M est suffisant grâce au hauban musculaire latéral (tenseur du fascia lata et biceps crural). Le moment musculaire $M.B$ est toujours supérieur au moment gravitaire $P.A$ chez le sujet normal (11). (Figure 52- (11))

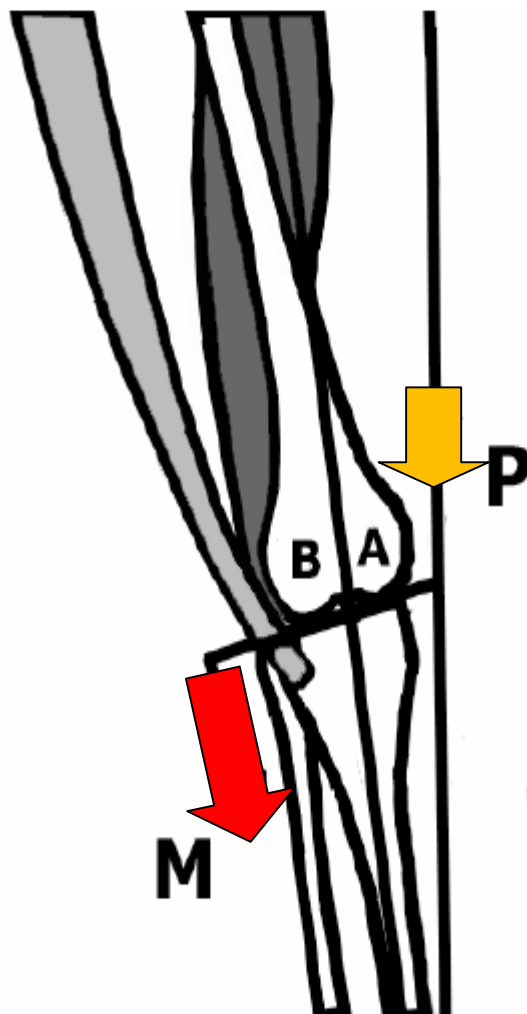


Figure 52 : dans un genou normal le moment musculaire est supérieur à celui gravitaire

Dans ce même cas, la distribution des contraintes sur les surfaces articulaires se présentent sous la forme d'un diagramme qui permet de conclure à une répartition symétrique des charges sur les surfaces portantes d'un genou normal avec une faible surcharge sur le compartiment interne (12). (Figure 53- (12))

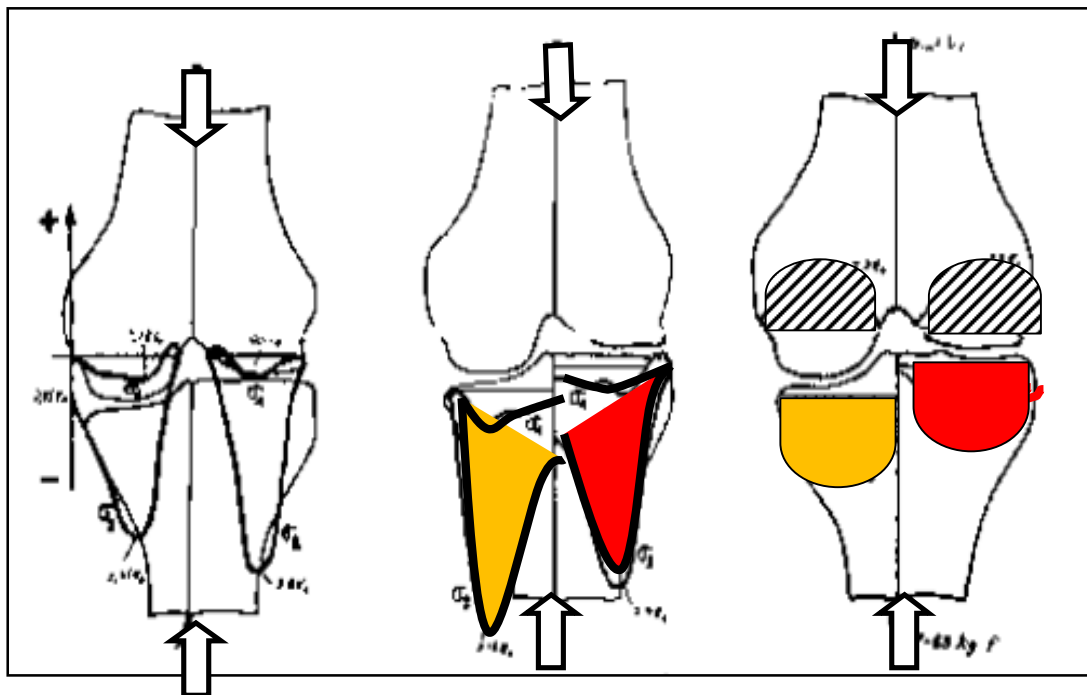


Figure 53 : dans un genou normal, les charges sont symétriques sur les surfaces portantes

- Compartiment interne
- Compartiment externe

2- Biomécanique du genou arthrosique sur genu varum :

La gonarthrose médiale est avant tout un problème mécanique favorisé par des déformations fémoro-tibiales, des altérations des surfaces articulaires, des séquelles traumatiques osseuses, une ménisectomie médiale, des ruptures ligamentaires en particulier du croisé antérieur (LCA).

Dans la majorité des cas, la gonarthrose se produit sur un genu varum constitutionnel qui peut potentialiser et aggraver toutes les causes citées plus haut, s'associant à la surcharge pondérale et à la faiblesse du hauban externe (11 ; 17).

Dans la gonarthrose sur genu varum, la déviation provoque un déséquilibre avec un axe mécanique qui passe en dedans du centre du genou normal et une surcharge, puis une altération du cartilage du compartiment médial.

(Figure 54- (11))

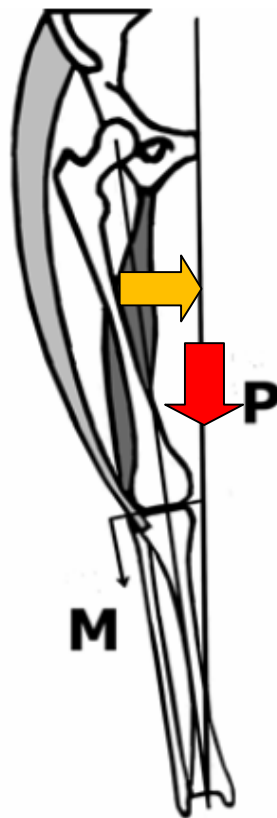


Figure 54 : le genu varum déplace l'axe mécanique du membre en dedans

3- Effet biomécanique de l'ostéotomie tibiale par ouverture interne :

3.1) Généralités :

Les ostéotomies pour gonarthrose sont pratiquées depuis plus d'un demi-siècle et ont fait la preuve qu'elles pouvaient stabiliser le processus arthrosique. Ces opérations sont en compétition avec les arthroplasties partielles ou totales qui sont de plus en plus fiables. Pourtant les prothèses articulaires sont encore limitées par l'usure du métal et du polyéthylène, et ne sont pas encore capables de supporter une activité importante durablement et chez les sujets jeunes. Les ostéotomies restent l'indication de choix (11 ; 15).

Les ostéotomies ont pour but de corriger ce défaut, de redistribuer les charges sur les deux compartiments et de diminuer la résultante des forces agissant sur le genou, ce qui permet de diminuer les douleurs (11 ; 16 ; 18).

Lorsque la résultante est déplacée en dedans (genu varum), le plateau tibial médial reçoit un surcroît de sollicitations mécaniques. Plusieurs facteurs peuvent engendrer un déséquilibre : si la distance A est augmentée, dans les conditions d'un varus, la direction du hauban est modifiée : la force P s'éloigne du centre du genou et la résultante R s'applique sur le plateau interne (12). (Figure 55- (12))

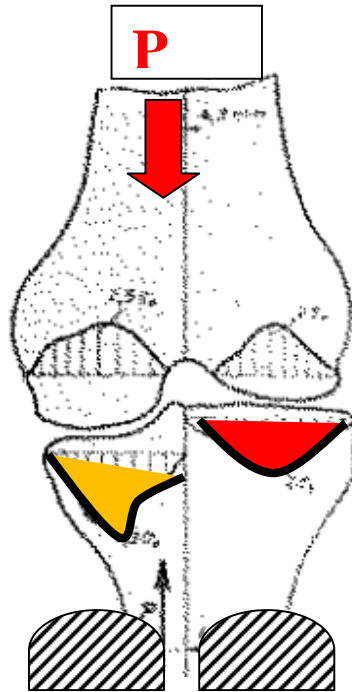




Figure 55 : le genu varum surcharge le compartiment interne

-  Compartiment interne
-  Compartiment externe

Dans le genu varum, qui représente 90 % des cas, le calcul théorique suggère qu'il faut réaliser une hypercorrection et l'expérience acquise le confirme grâce à de nombreuses séries étudiées.

L'hypercorrection doit se situer entre 3 et 6 degrés de valgus, calculé sur les axes mécaniques du fémur et du tibia (12). (Figure 56- (12))

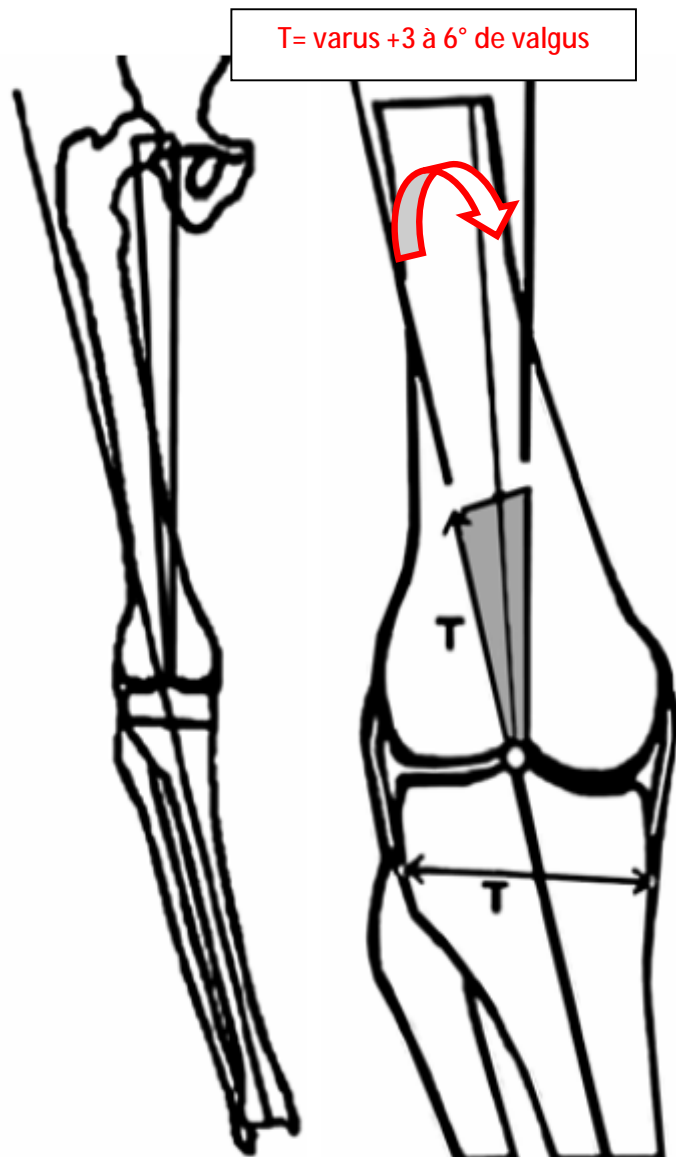


Figure 56 : l'ostéotomie doit viser une hyper correction entre 3° à 6° de valgus

Plusieurs techniques d'ostéotomies tibiales sont susceptibles d'apporter d'excellents résultats à long terme dans le genu varum, les additions médiales, les soustractions latérales et les ostéotomies curviplanes qui seules peuvent corriger les grandes déviations (11).

Chaque technique présente des avantages et des inconvénients et il est utile de savoir les pratiquer toutes, mais nous privilégions les ostéotomies d'ouverture, qui nous paraissent plus fiables, plus précises moins douloureuses et dont la réalisation est très rapide et peut se faire par un mini abord.

La précision de la correction dépend de la planification de chaque cas en tenant compte de la déformation osseuse et de la laxité ligamentaire.

Les bases théoriques sont de plus en plus claires, mais la planification d'une ostéotomie reste un exercice difficile.

L'arthrose fémoro tibiale interne sur genu varum, est une pathologie pour laquelle l'ostéotomie tibiale de valgisation est l'intervention conservatrice de référence. Elle repose sur un concept mécanique, qui ne se justifie que si l'ostéotomie n'entraîne pas à long terme une dégradation du compartiment fémoro tibial externe, améliore ou du moins stabilise l'arthrose interne et enfin s'oppose à la récurrence de la déformation (13 ; 17).

3.2) OTV et centre du genou : écart varisant

L'effet mécanique de l'OTV sur le centre du genou a été largement étudié par Thomine et al en 1979 ayant établi la théorie de l'« écart varisant » (24). (Figure 57- (24))



MESURER L'ECART VARISANT

- gonométrie en appui bipodal
- Tracer la ligne gravitaire = ligne verticale de symétrie
- rotation de cette ligne autour de la hanche, de telle sorte qu'elle croise le pied d'appui monopodal
- écart varisant = distance entre cette ligne et le centre du genou

Figure 57 : mesure de l'écart varisant sur une goniométrie

Dans un genou varisé, l'écart varisant est très grand. Il existe une force de compression entre le fémur et le tibia. Cette force de compression est initiée par le poids du corps, mais elle est multipliée par un effet bras de levier. Un bras de levier qui est d'autant plus grand que l'écart varisant est grand. Cette force de compression, qui peut représenter plusieurs fois le poids du corps, se répartit entre le plateau interne et le plateau externe (24).

Une ostéotomie tibiale de valgisation peu importante, réduirait le varus sans l'annuler. L'écart varisant est donc diminué. Les forces de compression sus décrites

vont également diminuer proportionnellement à la diminution de l'écart varisant (24).

Si l'ostéotomie de valgisation amène l'écart varisant à 1,2, le genou devient alors un genou « moyen » sur le plan biomécanique ; c'est un genou « normo-axé » (24). (Figure 58- (24))

Si l'ostéotomie de valgisation est encore plus importante, la ligne gravitaire continue de se latéraliser. Si la ligne gravitaire passe en dehors du centre du condyle interne (écart varisant inférieur à 0,66), le plan ligamentaire interne qui n'était, jusqu'ici, pas mis en tension, est tendu. Dans ce cas, le plateau tibial externe est en charge permanente et l'écart varisant devient en réalité valgisant (24).

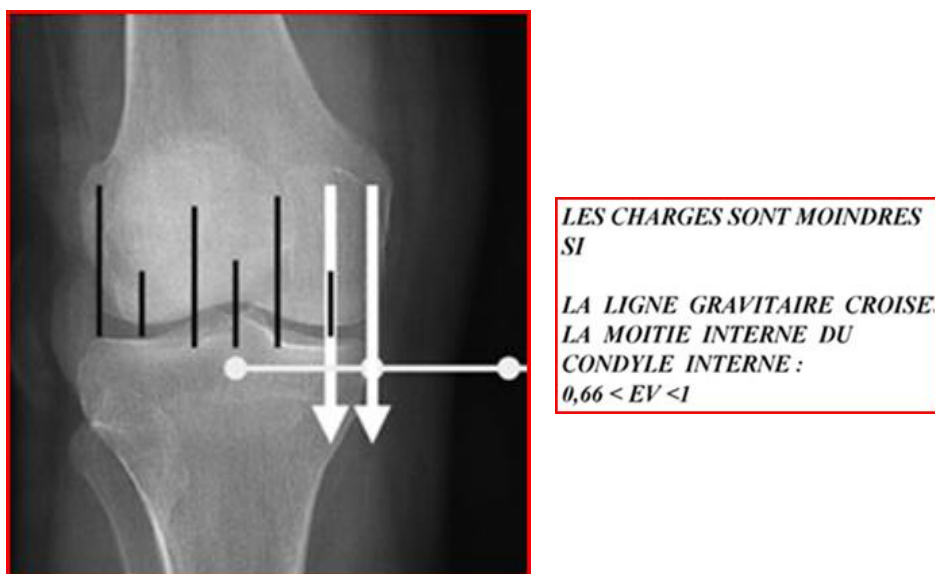


Figure 58 : la planification doit viser un écart varisant entre 0,66 et 1

3.3) Intérêt pratique de notre étude mathématique :

La méthode de l'écart varisant reste un outil de mesure imparfait, qui confond par convention le centre gravitaire du corps avec la vertèbre S2, ce qui implique une grande approximation (20 ; 21 ; 24).

Nous proposons par notre étude mathématique, des formules qui déterminent le déplacement du centre du genou par rapport à celui pré opératoire avec plus de précision, tenant compte de plusieurs paramètres :

- La déformation en varus
- La majoration en valgus
- L'angle de correction
- Le niveau de l'ostéotomie
- Les longueurs osseuses (fémur et tibia)

Ces équations mathématiques, qui peuvent servir à la planification pré opératoire de l'OTV ainsi qu'à la vérification post opératoire de la qualité du geste, constituent une alternative de choix à l'ostéotomie tibiale de valgisation par navigation qui reste non disponible dans notre contexte (22 ; 23). (Figure 59)

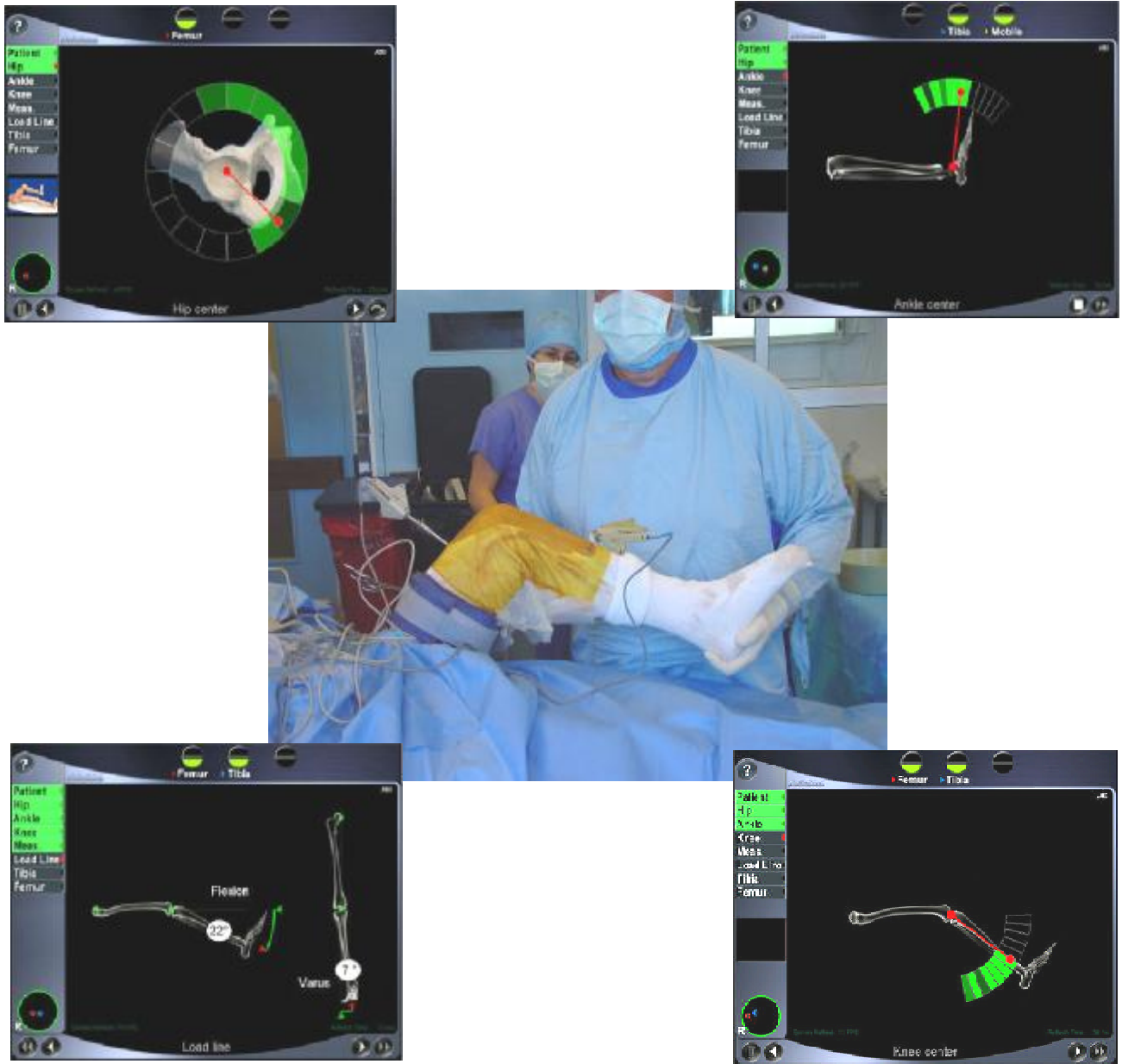


Figure 59 : OTV par navigation

3.3.1) Planification pré opératoire :

Pour la planification pré opératoire, on procède comme suit :

- D'abord on détermine géométriquement sur le pan goniomètre la localisation du centre du genou qui correspond à une correction ramenant l'axe mécanique du tibia à un angle entre 3 à 6° de valgus par rapport à l'axe du fémur. (Figure 60)

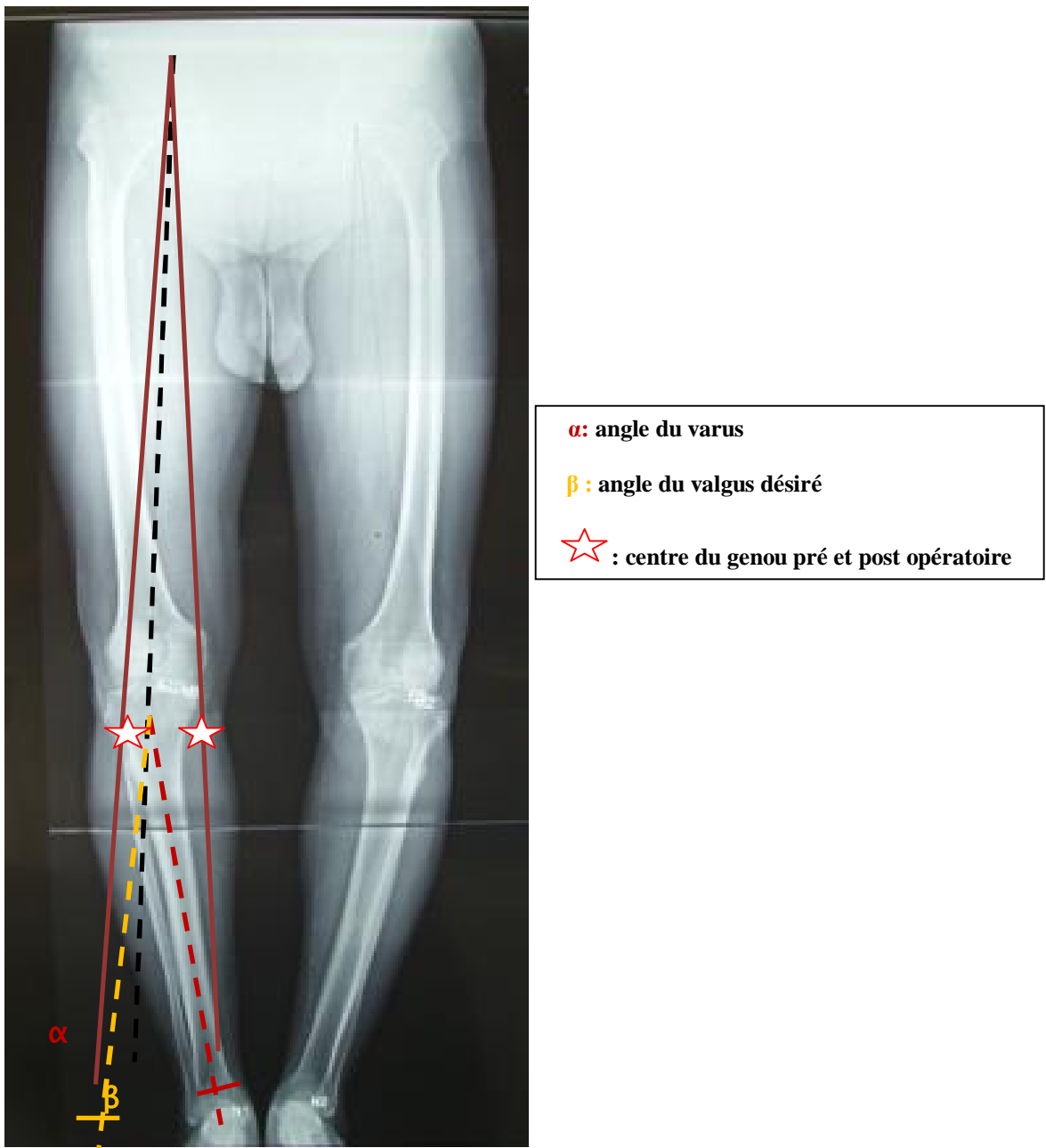


Figure 60 : détermination géométrique du centre du genou désiré

- On mesure la distance séparant les deux centres, pré opératoire et post opératoire désiré, qu'on remplace dans notre formule de déplacement pour calculer la longueur tibiale post opératoire. (Figure 61)

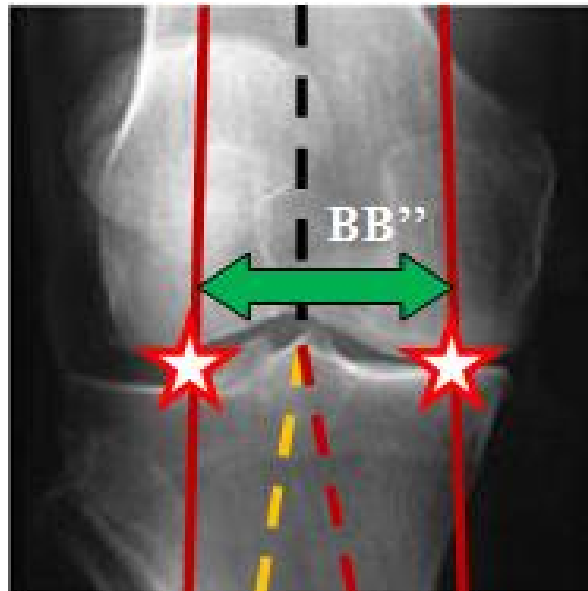


Figure 61

$$C'B' = \frac{d}{\cos\beta} / \frac{(1 - (dTg\beta)) \left(\left(L1 + \frac{d}{L1dTg\beta} \right) * B'B'' \right) - 1}{B'B''}$$

$$C'B' = (L1 * B'B'') / ((L1 * Tg\beta) - B'B'') \text{ (simplifiée)}$$

$$BB'' = BB' + B'B''$$

- Cette longueur qui va nous servir ensuite à préciser l'angle de correction à réaliser en fonction du niveau de l'ostéotomie. (Figure 62)

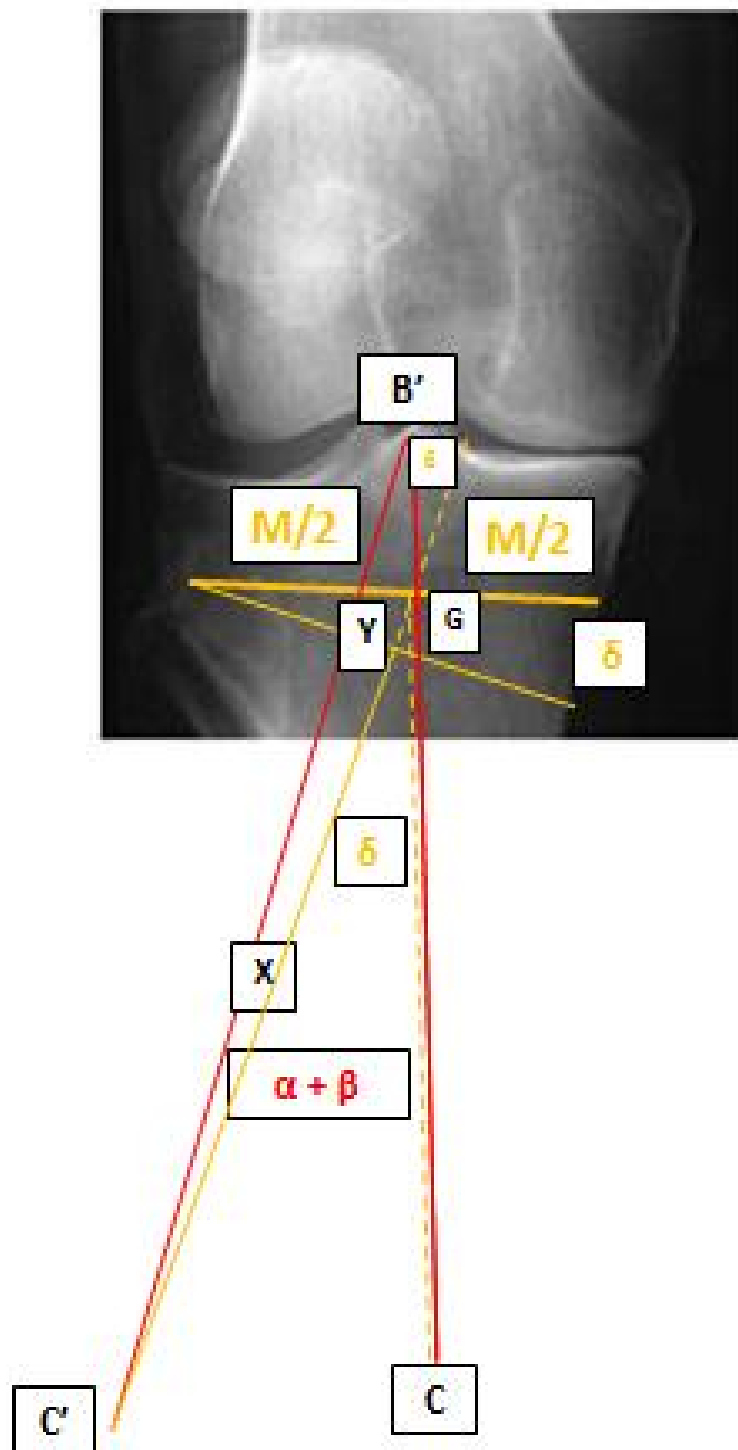


Figure 62

On considère à partir de la figure 60, le triangle B'GC' :

En appliquant la loi des Sinus, nous avons :

$$\frac{\sin G}{B'C'} = \frac{\sin X}{d + x}$$

Avec $d+x = B'G$ soit d le niveau de l'ostéotomie

Donc :

$$B'C' = \frac{\sin G}{\sin X} * (d + x)$$

D'autre part :

- L'angle $G = 180^\circ - \delta$
- L'angle $X = \delta - (\alpha + \beta)$
- La distance x est calculée en considérant le triangle EFG. (Figure 63)

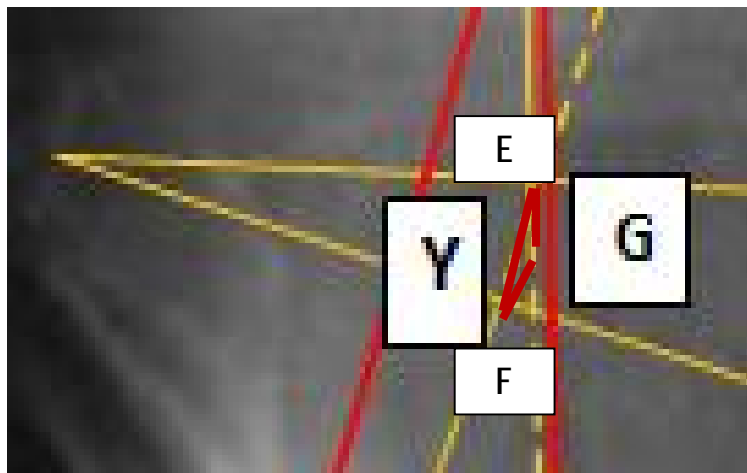


Figure 63

En appliquant la loi des Sinus dans le triangle EFG on écrit :

$$\frac{\sin G}{H} = \frac{\sin \theta}{x}$$

Avec :

- $H = EF = M \sin \delta/2$
- $\theta = 180^\circ - \gamma$ ($\gamma = 90 - \delta/2$)

Ainsi on obtient la formule suivante qui exprime la longueur B'C' en fonction de l'angle de correction δ et le niveau de l'ostéotomie d :

$$B'C' = \frac{\sin(180 - \delta)}{\sin(\delta - (\alpha + \beta))} * \left(d + \left(\frac{\sin \frac{\theta}{2} * M \sin \frac{\delta}{2}}{\sin(180 - \delta)} \right) \right)$$

$\theta/2$ tend vers 0° donc $\sin \theta/2$ tend également vers 0, ce qui permet de simplifier l'expression de B'C' de la façon suivante :

$$B'C' = \frac{\sin(180 - \delta)}{\sin(\delta - (\alpha + \beta))} * d$$

En utilisant les formules trigonométriques suivantes :

- $\sin(180-a) = \sin a$
- $\sin(a-b) = \sin a \cos b - \cos a \sin b$

On obtient :

$$\sin \delta = \left(B'C' * \sin(\alpha + \beta) \right) / \left(\left(B'C' * \cos(\alpha + \beta) \right) - d \right)$$

$$\delta = \sin^{-1} \left[\left(B'C' * \sin(\alpha + \beta) \right) / \left(\left(B'C' * \cos(\alpha + \beta) \right) - d \right) \right]$$

3.3.2) Vérification post opératoire:

De la même manière, on peut en post opératoire vérifier la précision de la correction en comparant la distance théorique, à celle géométrique qui sépare les centres pré et post opératoires : les distances seront différentes en cas d'hypo ou d'hyper correction.

3.4) Perspectives: logiciel informatique de calcul de l'angle de correction

Afin de simplifier l'utilisation de nos formules mathématiques, d'apparence complexe, nous avons jugé utile d'intégrer nos équations dans un programme informatique de calcul de l'angle de correction, simple et interactif. Ce logiciel est constitué de deux interfaces, dans lesquelles il suffit de remplir les cases de la première page par les différents paramètres correspondants, pour voir s'afficher automatiquement sur la deuxième interface la valeur de la correction optimale. Cet outil informatique, reste à développer d'avantage, surtout en matière de reconnaissance et projection radiologique des différents paramètres. (Figure 64)

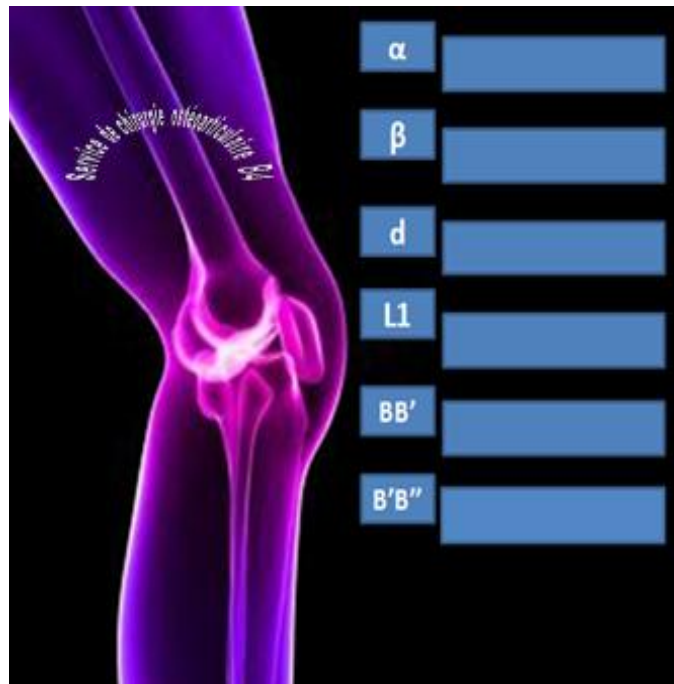


Figure 64 : notre logiciel informatique de calcul de l'angle de correction

CONCLUSION

L'ostéotomie tibiale de valgisation par ouverture interne constitue un moyen thérapeutique de choix dans le traitement de la gonarthrose des sujets jeunes.

Cette intervention est basée sur des concepts mécaniques, qu'on a essayé de dévoiler à travers notre étude mathématique, concluant à des formules qui quantifient avec précision le déplacement des centres du genou mécanique et anatomique.

Les équations établies, qui serviront à la planification pré opératoire de l'ostéotomie, et à la vérification post opératoire de la qualité du geste, ont été exploitées sous forme d'un logiciel informatique de calcul, dans le but d'optimiser la précision de la correction qui conditionne en grande partie le résultat fonctionnel final.

RESUMES

RESUME

La gonarthrose est une pathologie fréquente dans notre pays, notamment chez les femmes âgées. Elle pose un problème d'indication et de choix thérapeutique qui dépend de plusieurs facteurs. L'ostéotomie tibiale de valgisation constitue un outil thérapeutique d'un apport non négligeable, notamment pour les sujets jeunes actifs avec arthrose débutante.

Le but de notre travail est d'évaluer l'effet biomécanique de l'OTV sur le centre du genou pour mieux comprendre les résultats fonctionnels. Pour cela nous avons opté pour une étude mathématique, réalisée sur des genoux varisés, basée sur les données biomécaniques du membre inférieur, exploitées sur des pan goniogrammes.

Partant du fait que l'angle d'ouverture permet de déplacer l'axe mécanique du tibia pour s'aligner dans un premier temps à celui du fémur, puis créer un valgus de 3 à 6°, nous avons pu établir des formules mathématiques, qui quantifient le déplacement des centres du genou suite à une OTV, tenant compte de plusieurs paramètres.

Ces équations permettraient d'une part, une planification préalable du geste, et d'autre part, une évaluation post opératoire de la qualité de l'acte.

Notre travail a été exploité sous forme d'un logiciel informatique de calcul, afin d'optimiser la précision de la correction, garant d'un bon résultat fonctionnel durable.

SUMMARY

Knee osteoarthritis is a frequent pathology in our country, especially among older women. It poses a problem of therapeutic choice which depends on many factors. The valgus tibial osteotomy is a therapeutic tool with a significant contribution, particularly for younger patients with beginner active osteoarthritis. The objective of our study was to evaluate the biomechanical effect of OTV at the center of the knee in order to better understand the functional results. To this aim, we conducted a mathematical study which had been realized on varus knees. This study is based on biomechanical data of lower limb, undertaken on goniogrammes.

From the fact that the opening angle moves the mechanical axis of the tibia to align it, initially, to the femoral axis and create a valgus of 3 to 6 °, we have established mathematical formulas that quantify, by considering several parameters, the displacement of the center of the knee after an OTV.

On one hand, these equations would permit a previous gestures planning. On the other hand, it evaluates the quality of the act after surgery.

Finally, our work will be exploited under a computer program calculation to optimize the precision of the correction which guarantees a durable functional result.

ملخص

يعد التهاب وتآكل مفصل الركبة مرضا شائعا في بلادنا خاصة لدى النساء وتبقى نوعية علاجه مصدر نقاش لارتباطها بعوامل متعددة.

وفي هذا الإطار يشكل قطع العظم الظنبوبي الروحي بفتح الركبة الفحجاء داخليا وسيلة علاجية فعالة خاصة لدى المرضى الشباب .

ونظرا لأهمية الموضوع قمنا بدراسة رياضية من اجل فهم التأثير الميكانيكي لعملية قطع العظم الظنبوبي الروحي على مركز الركبة .

دراسة أفضت إلى صياغة معادلات رياضية تمكن من تحديد دقيق لمركز الركبة عقب العملية مع إمكانية حساب قبلي لزاوية الفتح.

ومن أجل تسهيل عملية الحساب قمنا باستغلال معادلاتنا في برنامج معلوماتي

BIBLIOGRAPHIE

- (1) : F. Dubrana
Tibial valgus osteotomy : Revue de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur (2008) 94S, S2—S21
- (2) : D. SARAGAGLIA, PH. PRADEL, F. PICARD
L'ostéotomie de valgisation assistée par ordinateur dans le genu varum arthrosique
e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie, 2004, 3 (2) : 21-25
- (3) : K. CHAKOUR- A.DAOUDI
Laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine et de pharmacie de Fès
- (4) : Kapandji IA.
Physiologie articulaire. Le membre inférieur.
Maloine, Paris. 1975-94.
- (5) : Maquet, P.
Principes de biomécanique statique. Application au genou.
In : Cahier d'enseignement de la SOFCOT, (22) :p.19-35. 1993.
- (6) : Lerat JL, Moyen B, Bochu M.
Clinical examination of bone axes in the adult. Tomodensitometry
Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.68(1):37-43. 1982.

- (7) : Duparc F, Thomine JM, Simonet J, Biga N.
Torsions osseuses fémorales et tibiales associées à la gonarthrose fémoro-tibiale interne.
Rev chir orthop. 78, 430-437. 1992.
- (8) : Paley D,
Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies
Orthop Clin North Am: 25,425,465
- (9) : Moreland JR, Bassett LW, Hanker GJ (1987)
Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. J Bone Joint Surg Am 69,745,749
- (10) : Chao EY (1994)
Biomechanics of malalignment. Orthop Clin Am 25: 279-386
- (11) : J-L. LERAT
Place et techniques actuelles des ostéotomies dans la gonarthrose fémoro-tibiale médiale
e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie, 2006, 5 (1) : 39-60
- (12) : D.N ANTONESCU
L'ostéotomie du genou est elle toujours indiquée dans la gonarthrose ?
Mise au point - ACTA ORTHOPEDICA BELGICA. Vol 66-5-2000

- (13) : Paley D, Maar DC, Herzenberg JE
osteotomy for medial compartment osteoarthritis.
Orthp Clin, North Am, 1994; 25: 483-98.
- (14) : F. Dubranaa, G. Lecerfb
Tibial valgus osteotomy
Revue de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur (2008)
94S S2— S21
- (15) : Brouwer RW, Bierma-Zeinstra SMA, Van Raaij TM, Verhaar JAN.
Osteotomy for medial compartment arthritis of the knee using a closing
wedge or an opening wedge controlled by a Puudu plate.
J Bone Joint Surg [Br] 2006;88-B:1454—9.
- (16) : Gaasbeek R, Welsing, Korshid O, Kuster M.
Patellofemoral contact pressure following high tibial osteotomy: a cadaveric
study.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2005;13:689—94.
- (17) : Kroner AH, Berger CE, Kluger R, Oberhauser G, Bock P, Engel A.
Influence of high tibial osteotomy on bone marrow in the knee.
Clin Orthop Relat Res 2007; 454:155—62.

- (18) : Desmé D, Galand-Desme S, Besse JL, Henner J, Moyen B, Lerat JL.
Analyse segmentaire de la déformation frontale dans les gonarthroses
fémorotibiales latéralisées.
Rev Chir Orthop 2006;92:673—9.
- (19) : Dowd GS, Somayaji HS, Uthukuri M.
High tibial osteotomy for medial compartment osteoarthritis. Knee
2006;13(2):87—92.
- (20) : Huang TI, Tseng Kf, Chen, Rm Lin Wm, Wu Jj, Chen Th.
Preoperative tibiofemoral angle predicts survival of proximal tibia osteotomy.
Clin Orthop Relat Res 2005; 432:188—95.
- (21) : Stoffel K, Stachowiak G, Kuster M.
Open wedge high tibial osteotomy: biomechanical investigation of the
modified Arthrex Osteotomy Plate (Puddu Plate) and the TomoFix Plate.
Clin Biomech 2004;19:944—50.
- (22) : Wang G, Zheng G, Keppler P, Gebhard F, Staubli A, Mueller U, et al.
Implementation, accuracy evaluation, and preliminary clinical trial of a CT-free
navigation system for high tibial opening wedge osteotomy.
Comput Aided Surg 2005;10 (2):73—85.

- (23) : Hankemeier S, Hufner T, Wang G, Kendoff D, Zeichen J, Zheng G, et al.
Navigated open-wedge high tibial osteotomy: advantages and disadvantages compared to the conventional technique in a cadaver study.
Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2006; 14: 917—21.
- (24) : Thomine JM, Boudjema A, Gibon Y, Biga N.
Les écarts varisants dans la gonarthrose.
Rev Chir Orthop 1981;67:319—27.