

## Offre de thèse : Etude et simulation numérique de l'ostéotomie fémorale de varisation par ouverture latérale

L'ostéotomie fémorale de varisation par ouverture latérale est une opération chirurgicale exigeante ce d'autant plus qu'elle est rarement pratiquée. L'indication type est une arthrose isolée du compartiment fémoro-tibial latéral du genou, voire le traitement des cals vicieux post-traumatiques chez des patients jeunes. Cette arthrose isolée se développe sur un morphotype particulier du membre inférieur défini en genu valgum (Fig.1), ce qui correspond à une déformation du membre inférieur à l'origine d'une surcharge des contraintes mécaniques sur la partie latérale du genou. Cette opération consiste à corriger, au niveau de la métaphyse fémorale distale, cette déformation de l'axe mécanique du membre inférieur, en créant une ouverture « osseuse » latérale (= ostéotomie) tout en maintenant une charnière médiale intacte permettant de corriger la déformation. L'ostéotomie est fixée par une plaque vissée verrouillée. Il s'en suit une période de décharge totale de 2 mois au moins suivie d'une phase de reprise d'appui partiel en fonction de l'évolution radiologique, en attendant la consolidation du fémur qui survient en 2-3 mois minimum [1].

La précision de la correction est primordiale, ainsi des guides de coupe sur mesure adaptés au patient et à la correction souhaitée sont développés en conséquence permettant une exactitude jugée parfaite par la littérature [2,3]. Le PSI (patient-specific instrumentation) est un guide de coupe patient spécifique (fig.2). Dans le modèle utilisé il comprend, entre autres, la mise en place d'une « broche de coupe » qui permet de simuler le trajet de l'ostéotomie et par conséquent la trajectoire de la scie, mais aussi la place pour « une broche de charnière » qui permet temporairement de stabiliser et de fixer la charnière, la préservant d'une éventuelle rupture. Cette broche charnière joue également le rôle de stop dans la mesure où la lame de scie vient buter dessus, ce qui assure encore une meilleure protection de cette charnière.



Figure 1 : radiographie pré (a) et post-opératoire (b)

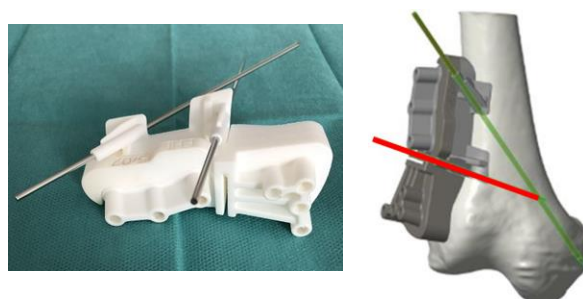


Figure 2 : guide de coupe et sa position sur le fémur



Figure 3 : radiographie de contrôle

Le guide de coupe est fixé sur le fémur par l'intermédiaire des deux broches et des pins. La broche simulant la position du trait d'ostéotomie dont la position est vérifiée par une radioscopie per-opératoire (fig.3), donne une idée exacte de la position de la scie et correspond aux données de la planification préopératoire. La partie supérieure du guide de coupe puis la broche simulant le trajet de la coupe et les pins sont ôtés. La partie inférieure est retirée en glissant le long de la broche de charnière. L'ostéotomie est complétée jusqu'à l'obtention de l'ouverture définie permettant d'obtenir la correction angulaire souhaitée. La broche de charnière n'est retirée qu'en fin

d'intervention afin de stabiliser la charnière le plus longtemps possible, une fois que la plaque est positionnée et fixée.

La plaque d'ostéotomie fémorale distale d'ouverture latérale étudiée présente des passages de vis verrouillées (fig.4). Lorsque la plaque est complètement fixée au fémur (fig.5), cela permet d'obtenir une stabilité angulaire primaire du montage qui autorise au patient la remise en charge immédiate après la chirurgie. Pour les angles de correction les plus élevés (classiquement au-delà de 10°), un comblement de l'ostéotomie peut être réalisé (substitut osseux, autogreffe, allogreffe, cale).

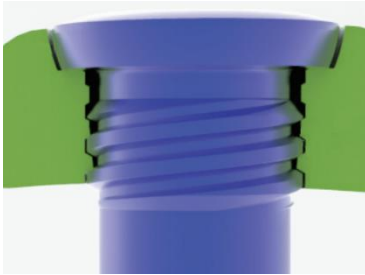


Figure 4 : tête de vis verrouillable

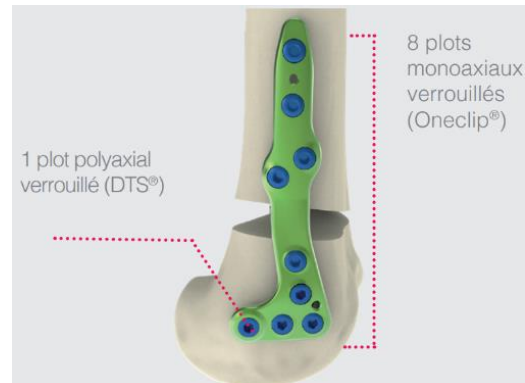


Figure 5 : Plaque d'ostéotomie fixée sur le fémur

L'objectif de ce projet est de mettre en place des outils numériques permettant de 1/ développer un modèle éléments finis (EF) du fémur distal le plus proche possible de la réalité, 2/ de comprendre le comportement de la charnière médiale et de confirmer l'intérêt observé en clinique de la broche de protection sur la charnière en définissant ses limites et ses capacités. Puis afin de simuler la consolidation osseuse post-opératoire, et de vérifier comment se répartit la charge entre l'os et la plaque d'ostéotomie, un substitut osseux «cortical» et un substitut osseux « trabéculaire » seront positionnés au niveau du trait d'ostéotomie. Ces outils numériques doivent permettre de simuler les différentes situations que le clinicien peut rencontrer. Une approche patient dépendant permettra de valider les modèles développés. Pour cela, des campagnes expérimentales instrumentées avec de la stéréo-corrélation d'images numériques sur Sawbones puis sur fémur prototypés imprimés en 3D issus de radiographies de patients pour préparer de futurs essais sur fémurs cadavériques seront réalisées. Le modèle numérique enrichi avec les essais sur fémur réel pourra apporter davantage de précisions sur l'état de guérison du patient et ainsi assurer un meilleur suivi. Une comparaison essais/modèles permettra d'identifier les points à améliorer. Le modèle développé permettra de plus de simuler les conditions post- opératoires d'une ostéotomie fémorale de varisation.

Ce projet se décline en l'étude de plusieurs paramètres (en multi et mono varié) après le développement d'un modèle fidèle en EF qui sont entre autres :

- 1/ l'intérêt de la broche sur la protection de la charnière,
- 2/ l'influence de l'importance de l'ouverture de l'ostéotomie et l'efficacité correspondante de cette broche charnière,
- 3/ la vitesse d'ouverture de l'ostéotomie et l'intérêt de cette broche charnière,
- 4/ la largeur de la charnière sur le risque de rupture,
- 5/ la localisation dans un plan horizontal de la sortie de la broche charnière sur la partie médiale du fémur distal,
- 6/ la tenue de la plaque lors de la reprise d'activité position debout pour comprendre au bout de combien de temps un patient opéré peut se remettre debout sur sa jambe.
- 7/ enfin l'influence de la qualité osseuse sur les différents paramètres précédents avec toujours en fil conducteur l'intérêt de cette broche. La consolidation définitive correspond au comblement total et complet de l'ostéotomie.

Afin d'étudier l'influence de ces paramètres, la première étape pour le doctorant sera de développer un modèle numérique de fémur distal avec ostéotomie comme modèle prédictif. Dans ce modèle, la loi de comportement des os sera finement étudiée afin d'être la plus fidèle possible d'un comportement réel. Il sera associé à la conception et à la réalisation d'expérimentations pour le valider. Une fois développé, le modèle doit permettre une meilleure compréhension du rôle de la

charnière et surtout comment la protéger au mieux, confirmant ainsi l'intérêt de la broche de protection.

### **Equipe d'encadrement :**

Directeur de thèse : Matthieu Ehlinger, PUPH

Co-Directrice : Nadia Bahlouli (PU)

Co-encadrants : Massamaesso Bilasse (EC), Yamen Othmani (EC), Wiyao Azoti (MCF),

Laboratoire d'accueil : ICube, Département Mécanique, Equipe Matériaux Multi-échelle et Biomécanique (MMB)

Établissements de rattachement : Université de Strasbourg et Icam site de Strasbourg

Collaborations : Hôpitaux Universitaires de Strasbourg (Service d'orthopédie), Plateforme IRIS (imagerie médicale IRM et GEBOAS), Groupe Interdisciplinaire en Biomécanique Ostéoarticulaire et Cardiovasculaire

### **Financement :**

Cette thèse est cofinancée par Icam site de Strasbourg à hauteur de 50%. Le candidat sera invité à présenter le projet devant la commission de l'Institut Thématique Interdisciplinaire (ITI) Health Tech en vue d'attribution du financement complémentaire. La thèse démarrera à partir de septembre 2023, pour une durée de 36 mois. Le candidat sera amené à faire des activités complémentaires d'enseignement à l'Icam site de Strasbourg.

### **Profil recherché**

Le candidat devra être en cours de préparation d'un diplôme de master ou d'ingénieur avec stage recherche, ou l'avoir déjà obtenu. Il devra posséder de solides connaissances en mécanique des structures/matériaux. Il devra avoir un goût prononcé pour les études expérimentales et une bonne maîtrise des outils numériques de modélisation (calcul par éléments finis sur Abaqus). Une première expérience dans le domaine de la biomécanique sera appréciée.

### **Dossier de candidature**

Un CV, une lettre de motivation, un relevé des notes obtenues au cours de la scolarité ainsi qu'une copie du diplôme d'ingénieur ou du Master sont à envoyer à [yamen.othmani@icam.fr](mailto:yamen.othmani@icam.fr) ou à [massamaesso.bilasse@icam.fr](mailto:massamaesso.bilasse@icam.fr).

### **Références bibliographiques**

- [1] Rosso, F., & Margheritini, F. (2014). Distal femoral osteotomy. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 7(4), 302–311. <https://doi.org/10.1007/s12178-014-9233-z>
- [2] Imhoff, F. B., Schnell, J., Magaña, A., Diermeier, T., Scheiderer, B., Braun, S., Imhoff, A. B., Arciero, R. A., & Beitzel, K. (2018). Single cut distal femoral osteotomy for correction of femoral torsion and valgus malformity in patellofemoral malalignment - Proof of application of new trigonometrical calculations and 3D-printed cutting guides. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2140-5>
- [3] Arnal-Burró, J., Pérez-Mañanes, R., Gallo-del-Valle, E., Igualada-Blazquez, C., Cuervas-Mons, M., & Vaquero-Martín, J. (2017). Three dimensional-printed patient-specific cutting guides for femoral varization osteotomy: Do it yourself. *Knee*, 24(6), 1359–1368. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2017.04.016>
- [4] Azoti, W., Aghazade, M., Ollivier, M., Bahlouli, N., Favreau, H., & Ehlinger, M. (2021). Orientation and end zone of the osteotomy cut for high tibial osteotomy: Influence on the risk of lateral hinge fracture. A finite element analysis. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 107(7), 103031, 2021.
- [5] Ehlinger, M.; Soenen, M.; Bahlouli, N.; et al., Interprosthetic femoral fracture: Crime or punishment? *Othopedics & Traumatology-Surgery & Research*, Volume: 105 Issue: 4 Pages:

577-578, JUN 2019, DOI: 10.1016/j.otsr.2019.03.001

- [6] Ehlinger, M., Ollivier, M., Course, S., Guerin, A; Lantz, E; Zahraa, D, Bonnomet, F., Bahlouli, N., Effect of saw blade geometry on crack initiation and propagation on the lateral cortical hinge for HTO: Finite element analysis, Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research, 2019. 10.1016/j.otsr.2019.04.026, DOI: 10.1016/j.otsr.2019.04.026