

Projet M3S

Optimisation numérique des paramètres mécaniques d'une ostéosynthèse par plaque verrouillée lors d'une fracture fémorale.

ENCADRANT : Jean-Marie ROSSI (ECM & ISM)

MOTS CLES : ostéosynthèse, plaque verrouillée, plan d'expérience, optimisation numérique, éléments finis.

CONTEXTE : Depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle, les techniques chirurgicales de traitement des fractures et les concepts qui s'y rattachent ne cessent d'évoluer.

L'ostéosynthèse est une intervention chirurgicale ayant pour but de mettre en place exactement les fragments d'un os fracturé et de les maintenir par un matériel ad hoc. Le chirurgien recherche alors une reconstitution anatomique la plus parfaite possible et une compression entre les deux bouts osseux, dans le but d'obtenir une stabilité maximale.

Les plaques d'ostéosynthèse sont fabriquées avec toutes sortes de formes et de tailles afin d'être adaptées à tous les os et à toutes les fractures. Lors de la reconstruction anatomique, la stabilité d'un montage par plaque traditionnelle est assurée généralement par les forces de friction entre la plaque et l'os. Même si ce montage a fait ses preuves, il présente néanmoins certaines faiblesses :

- Le contact étroit entre la plaque et l'os peut compromettre la vascularisation périostée.
- L'interface vis/plaque permet le pivotement de la vis ;
- L'instabilité apparaît lorsque la charge appliquée devient supérieure aux forces de frottement entre la plaque et la surface osseuse (en particulier dans le cas d'un os ostéoporotique).

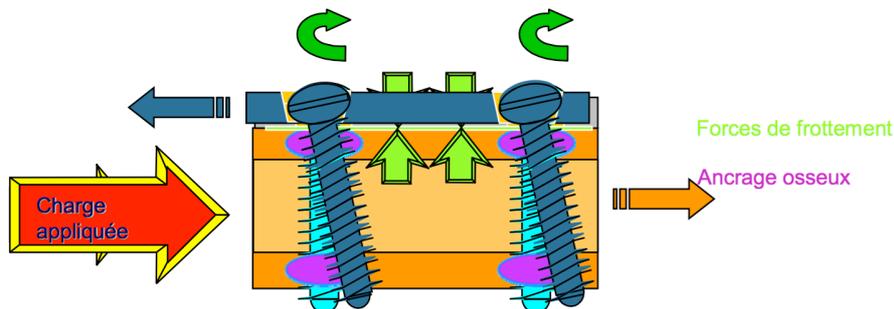


Fig. 1 : faiblesses des plaques conventionnelles

Depuis 2003, une nouvelle génération de plaques, les **plaques verrouillées** (*LCP : Locking Compression Plate*) a été mise sur le marché afin d'accroître les performances fonctionnelles de la liaison plaque, vis et os dans le but d'améliorer la synthèse osseuse (particulièrement dans les os de mauvaise qualité).

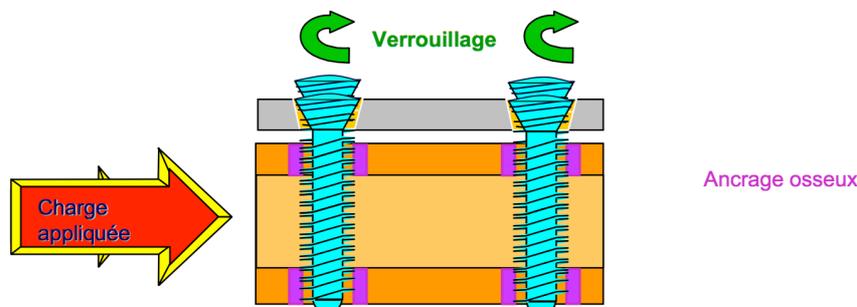


Fig. 2 : principe de fonctionnement des plaques verrouillées

Dans ces montages, la tête de vis est bloquée dans la plaque soit par un système de contre-écrou, soit par vissage de la tête de vis dans son logement sur la plaque, soit par vissage à travers une rondelle adaptée. Le couplage de la vis filetée dans la plaque assure la stabilité sans produire la friction de la plaque contre l'os obtenue par une vis standard. La plaque est alors légèrement décollée par rapport à l'os, l'irrigation sanguine est préservée ce qui permet une mobilisation active précoce et sans douleur.

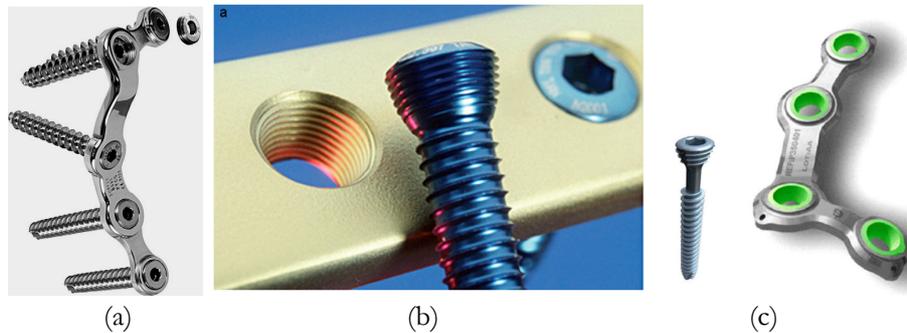


Fig. 3 : différents systèmes de verrouillage (a) la tête de vis est bloquée par un contre-écrou fileté (b) la tête de vis filetée se visse dans la plaque (c) la tête de vis vissée dans un insert en PEEK.

Les plaques verrouillées apportent donc une nouvelle façon de concevoir l'ostéosynthèse. Comme pour une ostéosynthèse traditionnelle, l'obtention de la consolidation de la fracture nécessite la stabilité du montage le temps de la formation du cal osseux et une flexibilité permettant des micromouvements du foyer. Cependant, leurs **principes biomécaniques sont fondamentalement différents de ceux des plaques non verrouillées**. Les règles de pose de ce matériel sont donc nouvelles, quant au nombre de vis sur la plaque, leur longueur, leur positionnement sur la plaque et par rapport à la fracture, la longueur de la plaque, etc... A ce jour, la configuration du montage « *gold standard* » n'a pas encore été clairement établie.

Des premières analyses expérimentales ont été menées sur os cadavériques pour tester quelques systèmes d'ostéosynthèse et ce, sur différents segments anatomiques. La grande variabilité des échantillons utilisés (géométrie, qualité osseuse...) ainsi que le nombre limité de configurations étudiées ne permettent de pas de conclure sur la supériorité mécanique d'une configuration sur une autre et de dégager des règles intangibles quant à la pose de ces systèmes. Pour compléter les premiers résultats des études expérimentales, une approche par modélisation numérique semble donc appropriée pour tester de manière exhaustive toutes les configurations possibles des systèmes « plaque - vis - os ».

LE PROJET :

Après une brève étude bibliographique pour comprendre le concept de plaque verrouillée utilisée en chirurgie orthopédique et traumatologie, il s'agira de développer une méthode numérique d'optimisation permettant de déterminer automatiquement, en fonction du profil de la fracture, de la taille du segment anatomique et de la taille de la plaque, la meilleure configuration possible (nombre, longueurs et positions des vis) du point de vue biomécanique. Les logiciels d'optimisation par plan d'expérience HYPERSTUDY et topologique OPTISTRUCT de la suite HYPERWORKS (ALTAIR) seront utiles pour mener cette étude.

Le modèle E.F. 3D « plaque - vis - fémur » utilisé sera celui déjà validé par comparaison à un modèle expérimental existant. Les données géométriques ainsi que les propriétés matériau du fémur sont issues de reconstructions d'images scanner fournies par le service de radiologie de l'Institut du Mouvement et de l'appareil Locomoteur de l'hôpital Sainte-Marguerite (AP-HM).

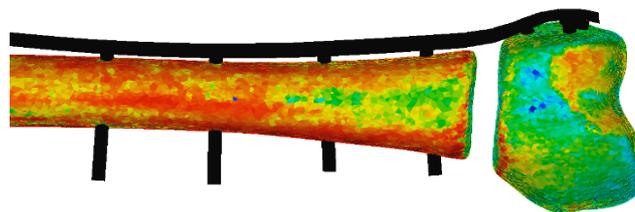


Fig. 4 : modèle élément fini de fémur fracturé avec plaque verrouillée

BIBLIOGRAPHIE :

- [HSU et al., 2012] *Applications of finite element methods and discrete particle swarm optimization algorithms in design of locked compression plates*, Computer-Aided Design & Applications.
- [BRAHIM, 2010] *Application of an optimization algorithm to configure an internal fixation device*, Queensland Univ of Technology.
- [LEE et al., 2014] *Simulation-based particle swarm optimization and mechanical validation of screw position and number for the fixation stability of a femoral locking compression plate*, Medical Engineering & Physics.
- [SCHIMMELPFENNIG et al., 2013] *Patient specific optimization of fracture treatment considering the inhomogeneous material properties of bone tissue and the expected load situation*, Weimar Optimization and Stochastic Days.
- [ROSEIRO et al., 2014] *External fixator configurations in tibia fractures : 1D optimization and 3D analysis comparison*, Computer methods and programs in medicine.