

## ED SMAER

### Sujet de thèses 2013

Laboratoire : [Imagerie Paramétrique UMR CNRS 7623 \(http://www.labos.upmc.fr/lip/\)](http://www.labos.upmc.fr/lip/)

Établissement de rattachement : [Université Pierre et Marie Curie](#)

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : [Quentin GRIMAL \(section CNU 60\)](#)

Codirection et section CNU et CNRS : [, Elhadi SARIALI \(chirurgien orthopédique, Hôpital de la Pitié Salpêtrière\)](#)

**Titre de la thèse : Analyse par une méthode vibratoire de la stabilité d'une prothèse de hanche : modélisation numérique et validation expérimentale in vitro et in vivo**

Collaborations dans le cadre de la thèse : [Entreprise du domaine de l'orthopédie et service de chirurgie orthopédique de l'Hôpital de la Pitié Salpêtrière](#)

#### Résumé du sujet :

Plus de 100000 prothèses de hanche sont posées chaque année en France pour remplacer une articulation malade (arthrose, fracture, etc.). Des innovations sont proposées régulièrement (techniques de pose, matériaux, géométries) pour éviter des échecs et améliorer la qualité de vie du patient. Un critère important de réussite est la préservation de l'anatomie du patient. Cela nécessite de choisir une forme de prothèse adaptée et de la positionner précisément par rapport au fémur et à l'os du bassin. Des travaux récents ont montré que les méthodes vibratoires sont prometteuses pour l'analyse de la stabilité des prothèses car elles peuvent s'avérer très sensibles aux conditions de contacts entre l'os et l'implant. Par ailleurs, des techniques d'imagerie performantes sont disponibles pour obtenir des données sur l'os permettant de préparer au mieux l'opération et d'augmenter ses chances de succès.

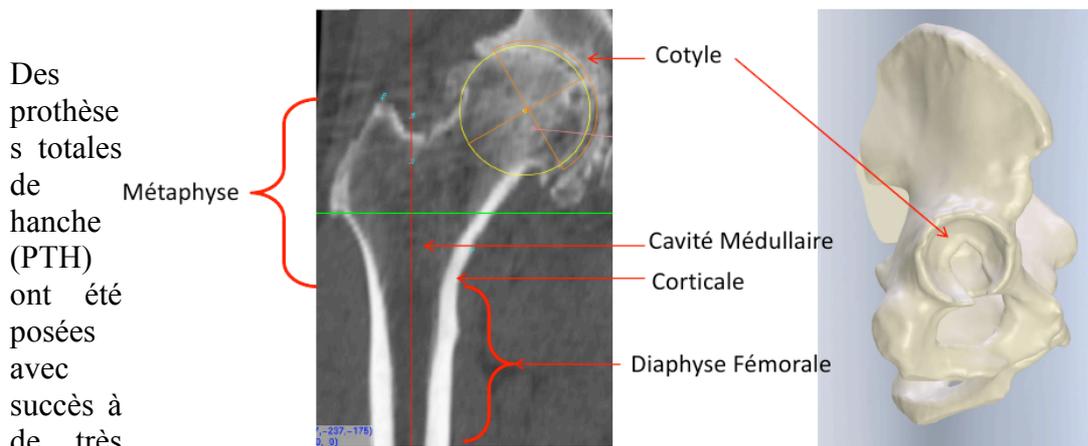
L'objectif de la thèse est de développer une méthodologie permettant de coupler des données du patient obtenues avant l'opération (scanner de la hanche éventuellement complété d'autres mesures de la qualité osseuse) avec un dispositif vibratoire d'aide à la pose de prothèse utilisé pendant l'opération. Les données recueillies avant l'opération sont utilisées pour effectuer un « planning tri-dimensionnel » qui permet non seulement le choix d'une prothèse de forme optimale mais également la simulation de la pose de la prothèse et de son ancrage à l'os. Dans le cadre du planning et pendant la pose, la stabilité sera évaluée par des méthodes vibratoires linéaires et non-linéaires.

L'étudiant aura en charge le développement de la méthodologie, de l'outil de simulation et de la conception du dispositif pour l'utilisation en salle d'opération. Une part importante du projet sera consacrée à la validation des outils par des expériences en laboratoire. Le travail sera réalisé en lien avec une entreprise du domaine de l'orthopédie et avec un service de chirurgie orthopédique.

Le (la) candidat(e) recherché(e) a une formation en mécanique, avec une dominante en mécanique des solides et vibration. Des compétences en calcul numérique ainsi qu'un goût pour l'expérimentation sont nécessaires. La maîtrise de l'anglais (oral, écrit) est indispensable.

## Sujet développé

Le Laboratoire d'Imagerie Paramétrique recrute un étudiant en thèse. Le doctorant travaillera au sein d'une équipe d'une quinzaine de personnes (chercheurs, ingénieurs, doctorants, médecins) dont l'objectif commun est la caractérisation des propriétés mécaniques et acoustique du tissu osseux. La principale application visée est l'aide au diagnostic et au suivi des pathologies osseuses. Le laboratoire participe également à une recherche plus fondamentale visant à expliciter les relations structure-fonction par l'étude des propriétés mécaniques des os, en associant les ultrasons ou les méthodes vibratoires à d'autres modalités d'imagerie et de mesure physique.



nombreux *Extrémité supérieure du fémur (gauche) et os du bassin (droite)*

patients depuis plus de quatre décennies. L'opération consiste à remplacer l'articulation malade de la hanche (arthrose, rhumatisme inflammatoire, fracture ou séquelle de fracture, nécrose de la tête fémorale) par une prothèse. Les prothèses sont constituées de deux parties : une pièce fémorale et une cupule cotyloïdienne qui est fixée sur l'os du bassin.

Des innovations des techniques portant sur les techniques de pose, les matériaux, les géométries sont proposées régulièrement. Ces innovations visent à éviter des échecs (descellement, fracture, douleurs) et à améliorer la qualité de vie du patient. D'une part les prothèses sont posées à des sujets de plus en plus jeunes, d'autre part l'opération est perçue comme un acte courant après lequel la reprise d'une activité normale doit être possible rapidement. Le travail demandé à l'articulation reconstruite est de plus en plus proche de celui d'une articulation normale, avec parfois une reprise d'activité sportive.

La durée de vie d'une prothèse, autrefois de l'ordre de 15 ans, doit être allongée. De nombreuses innovations ont consisté à favoriser l'intégration de la prothèse dans l'environnement osseux. Il s'agit d'une part d'assurer que les efforts seront régulièrement répartis dans la nouvelle articulation afin d'assurer un remodelage osseux homogène et physiologique. D'autre part la surface de la prothèse est traitée pour accélérer l'adhésion de l'os sur le métal.

Un critère important pour la réussite de la pose d'une PTH est la préservation de l'anatomie du patient. Cela nécessite d'une part de choisir précisément une forme adaptée de la prothèse mais également, pendant l'opération, de positionner correctement les pièces de la prothèse par rapport au fémur et à l'os du bassin. Pendant l'opération, le chirurgien utilise une râpe pour préparer la cavité médullaire de la diaphyse fémorale à la forme de la prothèse. Les chirurgiens peuvent bénéficier depuis peu de temps d'un protocole qui permet de planifier l'opération (choix et pose de la prothèse) à partir d'un scanner. Ce dernier fournit des images

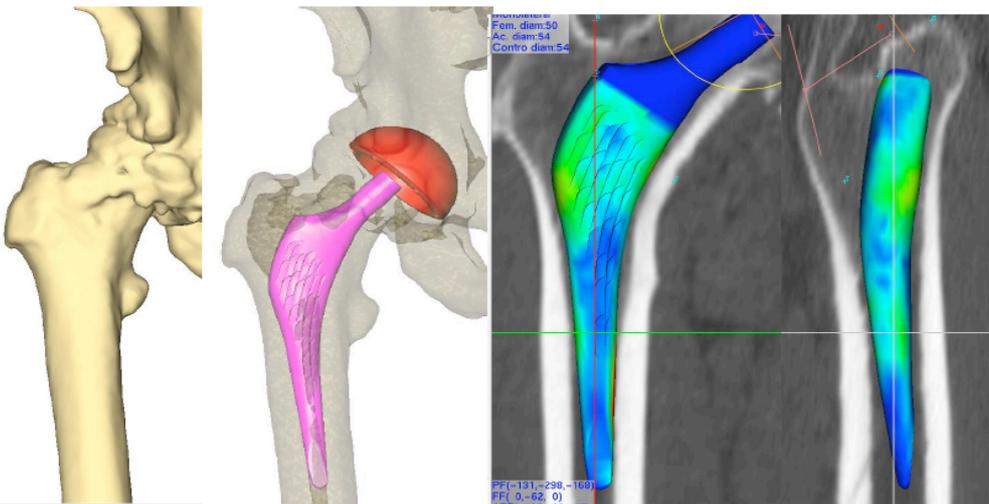
en trois dimensions de l'os et donne une cartographie de la densité osseuse. Toutefois, la qualité effective de l'os du patient, qui n'est connue avant l'opération qu'à travers la densité osseuse peut être un problème pendant l'opération.

Pour assurer une meilleure préservation de l'anatomie du patient – conditionné par le choix de la prothèse et sa pose dans une position optimale – ainsi qu'une bonne intégration de la prothèse dans l'os - conditionné par un remodelage physiologique – de nouveaux outils doivent être proposés aux chirurgiens.

Des travaux récents ont montré que les méthodes vibratoires linéaires et non-linéaires sont prometteuses pour l'analyse de la stabilité des prothèses car elles peuvent s'avérer très sensibles aux conditions de contacts entre l'os et l'implant. Par ailleurs, des techniques d'imagerie performantes sont maintenant accessibles pour obtenir des données sur l'os permettant de préparer au mieux l'opération et d'augmenter ses chances de succès. Le présent sujet est proposé dans ce contexte, et dans le cadre de collaborations étroites avec un service de chirurgie orthopédique et une entreprise impliquée dans la conception de prothèses.

## Objectif

L'objectif du projet de thèse est de développer une méthodologie



*Illustration du "planning tri-dimensionnel" en amont de l'opération*

permettant de coupler des données du patient obtenues avant l'opération (scanner de la hanche éventuellement complété d'autres mesures de la qualité osseuse) avec un dispositif vibratoire d'aide à la pose de prothèse utilisé pendant l'opération. Les données recueillies avant l'opération sont utilisées pour effectuer un « planning tri-dimensionnel » qui permet non seulement le choix d'une prothèse de forme optimale mais également la simulation de la pose de la prothèse et de son ancrage avec l'os. Pendant l'opération le dispositif d'aide à la pose donne au chirurgien des indications en temps réel sur la stabilité de la prothèse. Dans le cadre du planning et pendant la pose, la stabilité sera évaluée par une méthode vibratoire qui consiste à simuler – dans le planning – ou à mesurer – pendant l'opération - des résonances de la prothèse dans son environnement osseux. Des méthodes vibratoires linéaires et non-linéaires seront explorées.

L'étudiant aura en charge le développement de la méthodologie, de l'outil de simulation à partir de codes de calcul existants et de la conception du dispositif pour l'utilisation en salle d'opération. Une part importante du projet sera consacrée à la validation des outils par des expériences en laboratoire.

## Programme de travail

La première année sera consacrée à une analyse approfondie de la littérature sur les méthodes vibratoires visant à caractériser la stabilité des prothèses. Cette analyse permettra de définir, en s'appuyant sur l'expertise du laboratoire d'accueil, les grandes lignes de la méthode qu'il s'agira de développer. En particulier il faudra définir la gamme de fréquences de travail, le type de modes de vibration les plus intéressants vis-à-vis de l'analyse de la stabilité, les méthodes d'excitation et d'enregistrement des vibrations. Ces connaissances seront mises en œuvre pour développer un outil de simulation numérique par éléments finis pour prédire la stabilité d'une prothèse. Les données scanner de patients serviront de base aux simulations. La principale difficulté à traiter sera de modéliser correctement les conditions aux limites correspondant au blocage de tige fémorale prothétique dans le volume osseux. Une validation qualitative de l'outil numérique développé sera possible grâce au retour de l'expérience du chirurgien.

Pendant la seconde année, le doctorant mettra en œuvre une méthode de mesure et des expériences sur os synthétiques et os de cadavre. Il s'agira de vérifier la sensibilité de la technique vibratoire à la stabilité. Il faudra pour cela mettre en place, en parallèle des tests vibratoires, des tests biomécaniques permettant d'évaluer la stabilité. Une collaboration avec un laboratoire spécialisé est envisagée pour cette partie du travail. Des expériences sur les os, dont une image scanner aura été faite, permettront de valider cet outil numérique.

La troisième année sera consacrée à l'optimisation de la technique de mesure et éventuellement à la miniaturisation de l'instrumentation en vue de son évaluation en situation clinique.