

Proposition d'un sujet de thèse en co-tutelle

Université de Strasbourg (FR) – Université dell'Aquila (IT)

Titre : Développement d'un modèle prédictif de remodelage osseux orthodontique à partir de données patients

Domaine : Biomécanique

Laboratoire français : ICube – Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur de l'Informatique et de l'Imagerie, Strasbourg

Directeur de thèse français : Pr. Daniel GEORGE – Icube et Telecom Physique Strasbourg – george@unistra.fr

Co-encadrant de thèse français : Dr Yves BOLENDER – responsable de la sous-section d'Orthopédie Dento-Faciale, Faculté de Chirurgie Dentaire, Université de Strasbourg

Laboratoire italien : MeMoCS Research Center, Université dell'Aquila, Via Giovanni Gronchi 18, 67100, L'Aquila, Italie

Directeurs de thèse italiens : Pr. Francesco Dell'Isola (francesco.dellisola@univaq.it) and Pr. Ivan Giorgio (ivan.giorgio@univaq.it) – MeMoCS et Université dell'Aquila.

Co-encadrant de thèse italien : Dr Michele Tepedino - Orthodontiste

Contact préférentiel : george@unistra.fr

Durée de la thèse : 36 mois – octobre 2024 à octobre 2027.

Projet Scientifique

1. Contexte

Le sujet proposé s'insère dans le cadre de l'amélioration des traitements orthodontiques. Ces traitements se développent autour de l'étude de forces et de moments appliqués aux dents qui vont se déplacer grâce au remodelage osseux sous l'action de ces forces par l'intermédiaire de la réponse biologique dans les tissus. Les connaissances scientifiques des phénomènes à l'origine du déplacement dentaire sont encore assez méconnues. Le projet proposé s'intéresse à l'amélioration des connaissances mécanobiologiques à l'origine du remodelage osseux orthodontique afin de pouvoir améliorer les procédures médicales en cours et de proposer à terme des outils numériques prédictifs qui aideront les praticiens et simplifieront les procédures dans leurs traitements.

2. Objectifs

Les équipements orthodontiques, particulièrement les fils vendus par les fournisseurs et qui sont à l'origine du traitement présentent des variabilités de propriétés mécaniques impactant leur comportement alors même que ces données ne sont que très rarement fournies par les fabricants. Par ailleurs, les procédures mises en place par le praticien nécessitent une grande expertise et donc un temps long d'apprentissage. Enfin, la connaissance détaillée des phénomènes physiologique du remodelage osseux dentaire reste encore aujourd'hui assez mal connue. Le projet propose donc d'aborder le sujet sur 3 axes dont les objectifs sont :

- 1- Proposer une méthode de quantification précise des forces mécaniques appliquées aux dents. Le choix porte sur la procédure de type « technique segmentée » qui permet une bonne quantification des forces et moments appliqués aux dents. A travers des expérimentations, nous pourrions déterminer avec précision le comportement mécanique des différents types de fils orthodontiques et ainsi les forces mécaniques transmises aux dents. Le premier objectif est d'acquérir ces données expérimentales à l'origine du traitement et serviront de données d'entrées des modèles numériques.
- 2- Le second objectif sera de développer et d'implémenter les modèles théoriques numériques permettant d'identifier plus précisément les paramètres mécanobiologiques à l'origine du remodelage osseux et à travers le ligament parodontal.

3- Le dernier objectif est de valider les résultats obtenus par les modèles sur des données expérimentales de suivi patients. Une optimisation des paramètres des modèles pourra se faire avec la mise en parallèle des résultats numériques et l'évolution du traitement pour chaque patient.

Finalement, la connaissance de la biologie spécifique au remodelage osseux orthodontique couplée aux prédictions des modèles permettra au praticien une amélioration de ces procédures médicales et facilitera celles des jeunes praticiens.

3. Développement

Le projet s'inscrit dans un couplage entre les deux universités, française et italienne, à travers les parties expérimentales, médicales, théorique et numérique. Deux orthodontistes (un Français et un Italien), participeront à l'acquisition et au traitement des données expérimentales et de suivi des patients. L'université dell'Aquila portera en grande partie les développements théoriques ainsi que la réalisation de tests mécaniques de caractérisations des fils. L'université de Strasbourg portera le développement et l'implémentation des codes de simulation et de modélisation multiphysique et mécanobiologique par éléments finis. La validation et l'interprétation des résultats obtenus se feront de manière collégiale entre les deux universités et les orthodontistes.

Le travail principal de la thèse sera le développement et la validation des modèles théoriques numériques. Le(la) doctorant(e) aura en charge le développement des modèles par éléments finis à partir des images médicales. Il(elle) devra partir des modèles de remodelages osseux dentaires produits dans l'équipe de Strasbourg afin de les appliquer sur des géométries réelles de patients au cas de la procédure de la « technique segmentée ». Le verrou scientifique principal est de proposer un modèle mécanobiologique hétérogène anisotrope et multiphysiques afin d'identifier avec précision les paramètres mécanobiologiques à l'origine du remodelage osseux orthodontique et de les optimiser pour cette technique. Pour cela des modèles mécanobiologiques théoriques spécifiques, intégrant l'activation cellulaire à partir de la physique des tissus biologiques hétérogènes (PDL), devront être mis en place. Cette physique devra ensuite être transférée à la microstructure osseuse anisotrope environnante par l'intermédiaire du modèle éléments finis pour déterminer pour chaque patient la cinétique de remodelage osseux.

A l'issue de ce travail, les paramètres des modèles seront optimisés pour que les prédictions de remodelages osseux puissent être validées sur les données de suivi patients pour chaque cas.

4. Calendrier prévisionnel

Etape 1 – Orthodontistes : Acquisition des données patients par imagerie et mesures des forces appliquées sur patients. Doctorant(e) : Revue de la littérature, apprentissage de la théorie, extraction des géométrie patients et construction des modèles numériques

Etape 2 – Doctorant(e) : Développements des modèles théoriques de mécanobiologie osseuse et construction des codes numériques à implémenter. Réalisation de tests expérimentaux sur les équipements orthodontiques.

Etape 3 – Doctorant(e) : Développement principal avec la mise en œuvre des lois de comportement dans les simulations numériques. Intégration des données expérimentales et optimisation. Evaluation des phénomènes biophysique pour la prédiction des cinétiques dentaires des patients.

Etape 4 – Doctorant(e) + orthodontistes : Validation des résultats numériques par comparaison avec les données expérimentales sur patients. Proposition d'une méthodologie d'optimisation de la procédure orthodontique. Rédaction et soutenance de thèse.

5. Candidat(e)

Le sujet nécessite de bonnes connaissances en mécanique, physique et numérique. Un minimum de compétences expérimentales sera aussi souhaité pour les tests de caractérisation des équipements orthodontiques. Les domaines d'expertises acquis à l'issue de la thèse sont : (i) comportement des matériaux (biologiques et inertes) à structures complexes et méthodes d'homogénéisation et de phénomènes diffusifs, (ii) modélisations et simulations numériques par la méthode des éléments finis, (iii) développement d'outils numériques prédictifs visant une meilleure compréhension et une aide aux procédures dans les domaines médicaux.