

Vers une simulation patient-spécifique en odontologie

Domaine d'expertise : Stage en Informatique appliquée dans le domaine de l'odontologie (Stage en entreprise; Axé Recherche).

Compétences attendues : Biomécanique, connaissance d'un langage de programmation (C++, python), notions en éléments finis.

Rémunérations : 1000 euros / mois.

Lieu géographique du stage : Montpellier (ou Grenoble si besoin).

Encadrement :

- Florence Zara, MCU-Lyon 1, LIRIS-ORIGAMI UMR 5205 CNRS
- François Faure, Société Anatoscope, Montbonnot, France - selon le site du stage
- Benjamin Gilles, Société Anatoscope, Montpellier, France - selon le site du stage
- Raphaël Richert, AHU-Lyon 1, Faculté d'odontologie de Lyon et Hospices Civils de Lyon / LaMCoS UMR 5259 CNRS / INSA Lyon / Université Claude Bernard Lyon 1
- Maxime Ducret, MCU-PH Lyon 1 – Faculté d'odontologie de Lyon et Hospices Civils de Lyon / LBTI UMR 5305 CNRS / Université Claude Bernard Lyon 1

Candidature à envoyer par mail : faure@anatoscope.com, florence.zara@univ-lyon1.fr

Détails sur l'encadrement du stage : Le stage se déroulera au sein de la filiale Circle du groupe Anatoscope sous la supervision du Pr François Faure (CEO) et en collaboration avec l'université Lyon 1 (équipe Origami du LIRIS) et la faculté d'odontologie. La société AnatoScope est reconnue depuis plusieurs années pour le développement de logiciels de simulation 3D du corps du patient à partir d'imageries médicales, avec des caractéristiques biomécaniques proches de celles du patient. L'équipe Origami possède une expertise dans la modification de maillages dynamiques et la simulation biomécanique.

Contexte clinique du stage : La couronne dentaire représente la solution de réhabilitation de référence de la dent en cas de pertes tissulaires importantes. Le type et la forme de la couronne sont définis par le chirurgien - dentiste et le laboratoire de prothèse, en fonction des propriétés des matériaux, de leur expérience et perception du risque mécanique. Néanmoins des choix inadaptés peuvent amener, à court ou moyen terme, au dé-scèlement du dispositif, la fracture d'une partie de la couronne ou encore de la dent.

Par ailleurs, la démocratisation récente au sein des cabinets dentaires, d'outils comme la tomographie volumique et l'empreinte optique, donne aujourd'hui accès à des modèles virtuels du patient, permettant d'évaluer numériquement la biomécanique spécifique du patient. En effet, l'utilisation de modèles éléments finis patient-spécifiques permet d'optimiser les formes et le type de couronne et ainsi de l'adapter à chaque situation clinique. Dans ce sens, plusieurs méthodes ont déjà été développées au sein du laboratoire LaMCoS

(Richert et al. 2021) mais aucune ne fait aujourd'hui référence pour constituer de manière automatique ces modèles personnalisés en vue d'applications industrielles.

Objectif du stage : Ce stage a pour objectif d'automatiser le procédé de modélisation éléments finis patient-spécifique à partir d'une série de 10 cas cliniques. Le stage se décompose en différents jalons :

- Découverte des fichiers virtuels des structures dentaires issues de 10 situations cliniques de prémolaires nécessitant une préparation pour couronne périphérique et décrits par un fichier .mesh avec des Sets pour l'os, le ligament et la dent. Ces données seront fournies dès le début du stage par la faculté d'odontologie de l'université Lyon 1.
- Ecriture d'un code pour générer une courbe de Bézier décrivant la préparation dentaire définie par trois paramètres d'épaisseur (3 points : coordonnées et vecteur tangent) (cf. Fig. 1). Les bibliothèques python NumPy et Matplotlib pourront être utilisées pour représenter les graphiques.
- Écriture d'un code pour adapter la forme de la courbe à 360° sur toutes les sections de la dent. Écriture d'un code pour générer la surface de Bézier associée à la préparation sur toutes les sections.
- Contrôle de la qualité du maillage surfacique ou hexaédrique (indicateurs de qualité de maillage à définir), et modification des courbes en fonction.
- Ecriture d'un code pour recalibrer la forme de préparation de référence en fonction de chaque anatomie dentaire (sur les autres situations cliniques).
- Analyse éléments finis en voxel et comparaison des temps de calcul et de la convergence des calculs maillage fin/élevé avec des maillages tétraèdres) ;
- Calcul mécanique de la contrainte de von Mises (dentine, céramique de la couronne, résine de collage) en utilisant la plateforme SOFA et boucle d'optimisation de la contrainte par rapport aux paramètres de préparation dentaire et de chargement de la dent (comparaison de différentes méthodes d'optimisation, identification des paramètres les plus influents, outils de visualisation).

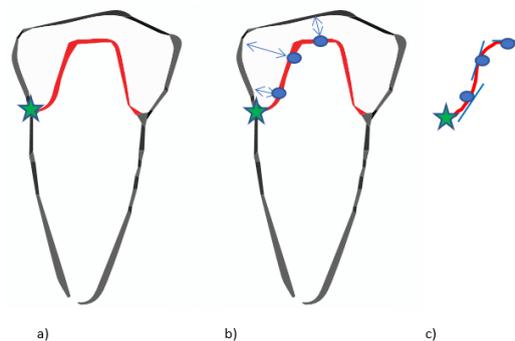


Figure 1 : a) plan de coupe de la dent en vue mésiodistale : tracé noir, la forme de la dent - tracé rouge, la forme de la préparation dentaire - étoile verte, limite cervicale (=basse) de la préparation dentaire : élément défini fixé par le praticien pour chaque dent). b) épaisseur de la préparation dentaire en trois zones. c) courbe rouge définie par les coordonnées des trois points bleu et les tangentes en chaque point (= 9 paramètres x,y,z + 9 vecteurs (a priori vecteurs maintenus fixes...)). La courbe rouge sera à adapter tout autour de la dent pour générer une forme conique régulière.

La partie appelée “analyse mécanique” sera gérée en interne par l’équipe spécialiste de l’entreprise Anatoscope. Le cas échéant, le stagiaire pourra également prendre part aux échanges qui porteront sur les problématiques suivantes :

- Intégration des lois matériaux, conditions aux limites et de chargement adaptés (différentes forces appliquées) pour définir le modèle éléments finis spécifique du patient.
- Génération des calculs éléments finis en statique (mouvement occlusal de latéralités, propulsion mandibulaire).
- Contrôle de la pertinence du modèle (tests de convergence, indicateur de Zhu Zienkiewicz).
- Analyse mécanique du modèle (champs de contrainte, de déformation) et définition des critères d’échec (fracture de la prothèse, de l’interface dent/couronne, fracture dentaire).

L’objectif à plus long terme sera d’automatiser la génération d’une préparation dentaire pour toute situation clinique décrite par un fichier DICOM et un fichier STL (base de données d’une 100aine de situations cliniques) (cf. Fig.2).

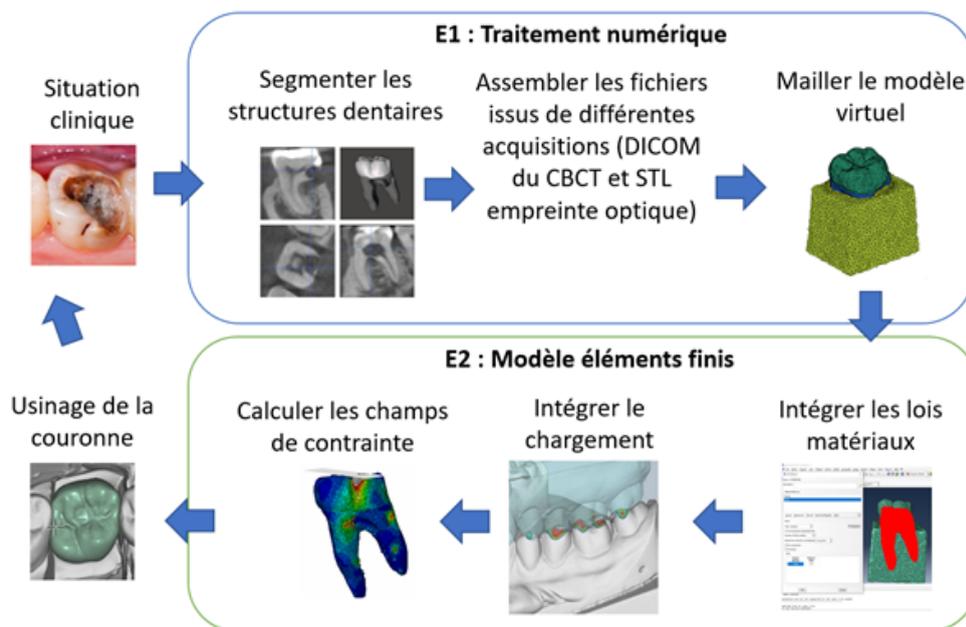


Figure 2: Procédé de calcul des contraintes dentaires associée à une situation clinique : Etape 1 – génération des fichiers virtuels sur une dizaine de situations (actuellement déjà réalisé par Dr Richert dans le cadre de sa thèse). 2 – automatisation du procédé d’analyse par éléments finis.

Suite du stage : Ce stage offre la possibilité de développer des compétences en gestion de projet et d’acquérir un savoir-faire notamment en analyse topologique et modélisation numérique. Il ouvre des voies pour les domaines de l’ingénierie-santé et de la simulation. A la suite du stage, une thèse CIFRE en collaboration avec Anatoscope est envisageable.