Sujet de thèse de doctorat

Modélisation du comportement thermomécanique des alliages à mémoire de forme : prise en compte de l'endommagement et de la rupture. Applications aux instruments endodontiques

Informations générales

Lieu de travail : LEM3, site de Polytech Nancy, 2 rue Jean Lamour 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy
Date de publication : Octobre 2026
Type de contrat : Convention de subvention ANR – projet ANR PRCE 'ENDOPTISHAPE'
Durée du contrat : 36 mois
Date souhaitée de début de la thèse : 1er février 2027
Quotité de travail : Temps complet
Rémunération : 2 200,00 € mensuel brut
Section CNU : 60ème, Mécanique, génie mécanique, génie civil

Contact : Frédéric THIEBAUD (frederic.thiebaud@univ-lorraine.fr) – Directeur de la thèse

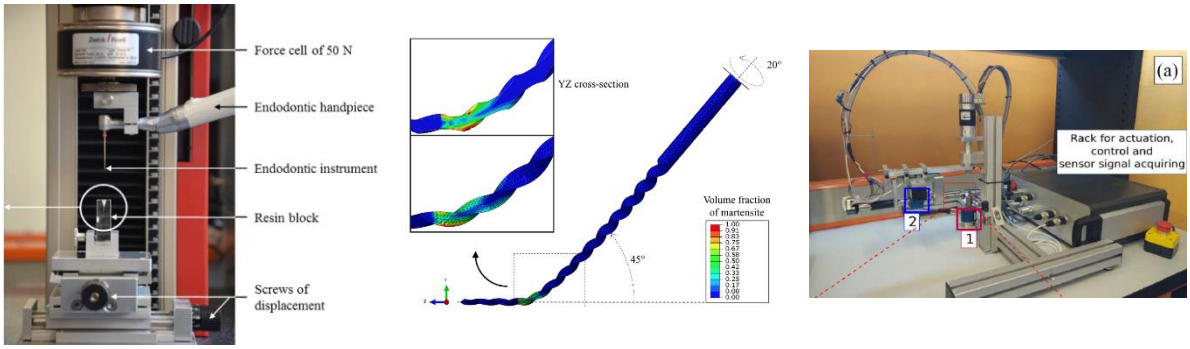
Description du sujet de thèse

Mots clés : alliages à mémoire de forme ; transformation martensitique ; endodontie ; essais mécaniques de pénétration – retrait ; simulation numérique ; implémentation de modèle de comportement

Description : L'endodontie moderne repose largement sur l'utilisation de limes en alliages à mémoire de forme (AMF) en Nickel-Titane (NiTi), dont la flexibilité induite par superélasticité permettent de traiter efficacement des canaux radiculaires complexes. Toutefois, la durabilité de ces instruments reste limitée par des phénomènes de fatigue fonctionnelle et structurelle, ainsi que par des risques accrus de ruptures instrumentales signalées par les professionnels de santé [1]. Pour répondre à cet enjeu de santé publique et de sécurité, le projet ANR ENDOPTISHAPE vise à développer un outil numérique prédictif global d'aide à la conception et à la pratique clinique.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette thèse, hébergée au sein de l'équipe LEM3-MMSV située sur le campus Polytech Nancy et dans la continuité des précédents travaux menés par l'équipe [2,3,4]. Le travail du doctorant consistera à développer une version avancée de la loi de comportement thermomécanique des AMF, en y couplant les effets de la plasticité, de l'endommagement et de la rupture du matériau [5]. Les techniques numériques des équations constitutives seront revisitées afin d'accélérer le temps de calcul et améliorer la fiabilité et la robustesse des simulations. Cette nouvelle formulation sera implémentée via une routine matériau UMAT dans le code de calcul par éléments finis Abaqus. Parallèlement, le doctorant s'investira activement dans la caractérisation expérimentale au sein du plateau technique du

laboratoire (plateau SMART), en améliorant l'essai de référence de pénétration-retrait (notamment grâce à l'intégration d'une enceinte climatique simulant la température buccale de 35 °C et l'utilisation d'un capteur d'efforts multiaxial). Des investigations similaires seront également menées pour caractériser les performances de l'instrument en flexion-torsion. Enfin, le travail inclura une phase essentielle de confrontation entre les données expérimentales et les prédictions numériques pour valider le modèle développé.



(a) (b) (c)

Figure 1 : *Essai de pénétration retrait d'après [2] (a) ; simulation numérique de l'essai de flexion-torsion sur instruments endodontiques, d'après [2] (b) ; machine spéciale de flexion-torsion , d'après [3] (c).*

Ainsi, quatre axes de travail fortement connectés seront considérés pour mener à bien ce projet de thèse.

- Étude bibliographique et formalisation théorique : Réalisation d'un état de l'art approfondi sur le comportement thermomécanique des AMF, les mécanismes d'endommagement et de rupture applicables aux instruments endodontiques.
- Développement et implémentation numérique : Enrichissement de l'expression proposée de l'énergie libre associée au comportement thermomécaniqe des AMF pour intégrer le couplage entre transformation martensitique, plasticité et endommagement, suivi de son codage et de son implémentation dans Abaqus. Cette étape fera suite à une première phase d'amélioration des performances des outils numériques.
- Caractérisation expérimentale avancée : Conduite d'essais de pénétration-retrait optimisés (sur canaux artificiels et dents réelles) à la température buccale de 35 °C, avec l'acquisition fine des composantes du torseur d'action mécanique. Une démarche similaire sera conduite pour les essais de flexion-torsion.
- Validation et couplage : Analyse comparative rigoureuse entre les réponses mesurées expérimentalement et les résultats numériques issus du modèle, contribuant directement à l'enrichissement de l'outil prédictif global du projet.

Références :

[1] Friedman, S., Abitbol, S., & Lawrence, H. P. (2003). Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. Journal of endodontics, 29(12), 787-793.

[2] Vincent, M., Xolin, P., Gevrey, A. M., Thiébaud, F., Engels-Deutsch, M., & Ben Zineb, T. (2017). Experimental and numerical analysis of penetration/removal response of endodontic instrument made of single crystal Cu-based SMA: comparison with NiTi SMA instruments. Smart materials and structures, 26(4), 045014.

[3] Xolin, P., Becker, S., Thiébaud, F., Engels-Deutsch, M., & Ben Zineb, T. (2020). Combined bending–torsion testing device for characterization of shape memory alloy endodontic files. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 31(15), 1763-1781.

[4] Abdelmomen, I., Vincent, M., Thiebaud, F., Budzinski, J., Bastogne, T., Ben Zineb, T., & Engels-Deutsch, M. (2023). Experimental analysis of the influence of heat treatments on the flexibility of NiTi alloy for endodontic instruments manufacturing. Materials, 16(9), 3437.
[5] Khalil, W., Mikolajczak, A., Bouby, C., & Ben Zineb, T. (2012). A constitutive model for Fe-based shape memory alloy considering martensitic transformation and plastic sliding coupling: Application to a finite element structural analysis. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 23(10), 1143-1160.

Contexte de travail

Ce projet de thèse sera supervisé par Frédéric THIEBAUD (Maître de conférences HDR, coordinateur du projet ENDOPTISHAPE) et co-encadré par des membres de l'équipe du Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3) – Département Mécanique des Matériaux, des Structures et du Vivant (MMSV). Le travail de recherche sera réalisé sur le site de Polytech Nancy du LEM3 à Vandoeuvre-lès-Nancy, en étroite collaboration avec les partenaires académiques (LEM3-TPRIOM, IRDL Brest) et industriel (Coltene-MicroMega) du consortium.
Un suivi régulier sera assuré à travers des réunions hebdomadaires ou bimensuelles permettant de faire le point sur l'avancement scientifique, les difficultés rencontrées et les orientations à privilégier. Le doctorant bénéficiera également d'un accompagnement dans sa formation par la recherche, incluant des formations transversales (méthodologie, communication scientifique, éthique ...) et un soutien actif à la participation à des conférences nationales et internationales.
L'avancement des travaux fera l'objet d'évaluations annuelles dans le cadre du comité de suivi individuel, garantissant la qualité scientifique du projet et le bon déroulement du doctorat.

Profil du candidat

Des connaissances poussées en mécanique des structures et des matériaux ainsi qu'en méthodes numériques sont essentielles. Une expérience en programmation Fortran, python et C++ serait un atout.
La maîtrise de l'anglais (à l'oral comme à l'écrit) est importante, et la connaissance du français constituerait un avantage.
Chercheur enthousiaste, vous êtes animés par une volonté constante d'apprendre et de comprendre ; vous appréciez le travail en équipe internationale et avez le goût tant pour l'expérimentation que pour la théorie.

Pièces à joindre pour la candidature

- Un Curriculum vitae à jour
- Une lettre de motivation
- Un relevé de note de master M1 et master M2 ; 2ème et 3ème année d'école d'ingénieur le cas échéant