

N° d'ordre : D -

**THESE**

présentée

devant l'Institut National des Sciences Appliquées de Rennes

en vue de l'obtention du

**DOCTORAT**

spécialité : Sciences des Matériaux

par Mme Tianyu JIA

**Intitulé : Modélisation par éléments finis de la fonctionnalité mécanique de dispositifs médicaux en alliages de titane  $\beta$ -métastable biocompatibles**

Directeur de Thèse : Thierry GLORIAN

Date, heure et lieu de soutenance : 14/03/2025, 14h, INSA Rennes, *Amphi Bonu*

Membres du jury (nom, prénom, titre et établissement de rattachement, fonction)

ARBAB CHIRANI Shabnam, Professeure des Universités, ENSTA Bretagne, Rapporteuse

LAVERNHE-TAILLARD Karine, Maîtresse de Conférences HDR, ENS Paris-Saclay, Rapporteuse

TANCRET Franck, Professeur des Universités, Nantes Université, Examinateur

FOUGERON Nolwenn, Chargée de Recherche, INRIA Rennes, Examinatrice

GUINES Dominique, Maître de Conférences, INSA Rennes, Examinateur

LEOTOING Lionel, Professeur des Universités, INSA Rennes, Examinateur

GLORIAN Thierry, Professeur des Universités, INSA Rennes, Directeur de Thèse

Thèse

**RESUME DE LA THESE**

Dans ce travail de thèse, le potentiel des alliages de titane  $\beta$ -métastable biocompatibles pour les dispositifs biomédicaux tels que les stents auto-expansibles, les agrafes osseuses compressives et les prothèses de hanche a été étudié. Bien que de nombreux alliages de titane  $\beta$ -métastable aient été étudiés expérimentalement, leurs fonctionnalités ont été peu évaluées, notamment par des approches de simulation numérique. Par conséquent, l'objectif du présent travail a été d'étudier par des analyses par éléments finis les fonctionnalités mécaniques des dispositifs biomédicaux fabriqués à partir de deux alliages superélastiques biocompatibles (alliages Ti-22Zr-11Nb-2Sn et Ti-24Zr-10Nb-2Sn) et d'un alliage à faible module (alliage Ti-20Zr-3Mo-3Sn) et en les comparant aux alliages de référence NiTi et Ti-6Al-4V.

Les trois alliages de titane ont été élaborés par fusion en lévitation en creuset froid et leurs propriétés mécaniques ont été caractérisées par des essais de traction cycliques. Pour les analyses par éléments finis, un modèle constitutif a été utilisé et validé pour compléter leurs caractérisations mécaniques.

Pour les stents vasculaires auto-expansibles, une analyse complète par éléments finis a été réalisée pour modéliser le déploiement du stent et la flexion vasculaire à l'aide d'un modèle de stent adapté et pour deux géométries artérielles. Parmi les alliages, les stents Ti-22Zr-11Nb-2Sn ont démontré des performances mécaniques supérieures, notamment une capacité de fixation améliorée, des forces de contact radiales plus élevées et une expansion vasculaire améliorée. De plus, l'analyse a mis en évidence l'impact significatif de la plaque d'athérome sur le comportement du stent dans le cas de la sténose.

Pour les agrafes osseuses, les analyses par éléments finis ont démontré que les alliages superélastiques Ti-24Zr-10Nb-2Sn et Ti-22Zr-11Nb-2Sn sont efficaces pour maintenir une pression de serrage suffisante avec l'os. Des études paramétriques ont révélé que l'optimisation de la géométrie des agrafes peut améliorer la fixation osseuse de manière significative, en particulier dans les conditions ostéoporotiques qui nécessitent des besoins mécaniques critiques.

Pour évaluer l'impact de l'effet "stress shielding" dans les prothèses de hanche, une analyse par éléments finis a été réalisée avec un alliage Ti-20Zr-3Mo-3Sn  $\beta$  métastable à faible module (d'environ 50 GPa). Nos résultats ont montré qu'un faible module réduit efficacement l'effet "stress shielding" de 45.5 % par rapport à l'alliage Ti-6Al-4V (module de 110 GPa) couramment utilisé.