



Université Lille Nord de France
Pôle de Recherche
et d'Enseignement Supérieur

Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



Titre : Caractérisation et modélisation multi-échelle du comportement mécanique à la rupture du membre scapulaire sous sollicitations dynamiques.

Financement prévu : MRES

Cofinancement éventuel : Néant

(Co)-Directeur de thèse : Hakim NACEUR, PR LAMIH/UVHC

E-mail : hakim.naceur@univ-valenciennes.fr

Co-directeur de thèse : Christian FONTAINE, PU PH Lille 2

E-mail : christian.fontaine@chru-lille.fr

Laboratoire : LAMIH FRE CNRS 3304

Equipe : C2S

Descriptif :

La modélisation virtuelle de l'être humain est un enjeu actuel majeur. Elle permet en effet de simuler numériquement l'exposition d'un individu à des situations à caractère dangereux, sans pour autant recourir à des expérimentations qui ne sont éthiquement pas envisageables. Afin de parvenir à ces simulations, il faut recourir à des modèles multi-échelles capables de tenir compte de la diversité intra-individuelle, tant sur le plan géométrique que physique. Les travaux menés au LAMIH en particulier les activités de recherche du CISIT, thème 4.1: "*Modèle virtuel de l'être Humain pour la Sécurité*" s'inscrivent dans cette démarche et concernent plus particulièrement la prédiction des lésions osseuses.

L'os constituant le membre scapulaire (complexe osseux humérus, radius et ulna) est un matériau complexe qui possède plusieurs hiérarchies d'anisotropie structurelle allant jusqu'au nanomètre. Cependant, les lois de comportement macroscopiques habituellement utilisées pour sa modélisation se heurtent à la complexité physique et ne permettent pas de reproduire son comportement réel. A notre connaissance, à ce jour il n'existe pas de loi de comportement macroscopique d'os du membre scapulaire qui permet de prédire son comportement mécanique et encore moins sous chargement extrême conduisant à la rupture. Il a été prouvé qu'une modélisation par des techniques multi-échelles est mieux appropriée pour tenir compte de sa microstructure.

Dans cet objectif, un premier modèle du comportement de l'os trabéculaire, basé sur les schémas d'homogénéisation linéaire, a été développé au sein de l'équipe C2S au LAMIH. L'approche micromécanique développée, est basée sur un couplage entre le modèle de Ponte Castaneda et des mesures expérimentales de l'architecture de l'os trabéculaire effectuées par micro-tomographie à rayons X en utilisant la méthode du *Mean Intercept Length*. Ce modèle micromécanique permet de modéliser le comportement élastique anisotrope de matériaux poreux à microstructure aléatoire et de considérer les effets de leur anisotropie matérielle et structurelle.

Dans le cadre des travaux de thèse, nous proposons, l'extension du modèle micromécanique linéaire au comportement non linéaire en y incluant l'endommagement. Ceci en perspective de développer un modèle élément fini de la famille solide-coque (adapté aux microstructures complexes à fortes variations d'épaisseurs) intégrant une loi de comportement anisotrope élastoplastique couplée à l'endommagement par croissance de porosité pour représenter le comportement réel des tissus osseux.

Le nouveau modèle d'endommagement sera basé sur un couplage entre plasticité et endommagement à l'échelle microscopique. La prise en compte de l'endommagement sera effectuée en adaptant l'approche par analyse limite de Gurson et ses évolutions, et plus précisément le modèle de Monchiet 2006, basé sur l'utilisation d'un champ de vitesse test de type Eshelby, pour tenir compte de la variation géométrique des microcavités. Le recours à un champ de vitesse de type Eshelby

permet d'améliorer le critère de Gurson pour les faibles triaxialités de contraintes, tout en préservant le résultat exact pour les états de contrainte hydrostatique.

Une partie des travaux sera consacrée à l'étude de sensibilités des mesures et des calculs par rapport à la variabilité interindividuelle avec une quantification de l'influence des principaux paramètres tels que : la fraction volumique les propriétés matérielles (de la matrice) et des variations structurales. Comme il est irréaliste de développer un modèle unique, la tendance actuelle est de recourir à plusieurs modèles en classifiant la population selon sa morphologie.

La recherche proposée permettra une meilleure compréhension des mécanismes lésionnels du membre scapulaire. Cette compréhension de la physique du phénomène d'impact participera à l'amélioration de la sécurité : dans les transports (réduction de décélérations agressives par la sécurité passive, réduction de la sévérité aux points d'impact humain par l'emploi de systèmes de sécurité actifs), dans le domaine sportif (mise au point de protections) et dans le domaine médical (par exemple, réduction des effets délétères des chutes chez la femme âgée ostéoporotique).

Le sujet s'articulera en deux phases, à l'échelle microscopique puis macroscopique. La première phase consistera en une étude locale sur les segments constituant des membres scapulaires droits, suivi d'une étude globale de corrélation/validation sur le membre scapulaire issu du même individu.

Les principales actions de recherche sont :

- *Mise en place de protocoles expérimentaux in-vitro de caractérisation aux différentes échelles des propriétés mécaniques des tissus biologiques constitutifs du complexe du bras humain.*
- *Modélisation géométrique personnalisable intégrant la diversité morphologique.*
- *Développement du modèle de comportement élastoplastique couplé à l'endommagement à l'échelle micromécanique et intégration dans un modèle EF de type macro.*
- *Modélisation du comportement mécanique sous sollicitations dynamiques des tissus constitutifs jusqu'à lésion intégrant la variabilité interindividuelle.*
- *Intégration de lois de comportement adaptées au comportement fragile et prenant en compte l'hétérogénéité de la liaison cortical/spongieux.*
- *Validation par expérimentations en dynamique rapide sur segments anatomiques.*

Ces travaux se feront en une collaboration entre le LAMIH et le Laboratoire d'Anatomie de Lille 2.