



Avis de Soutenance

Monsieur Jianbo SHEN

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **mercredi 02 février 2022** à 14h00
Lieu : UTBM Site de Sévenans, Rue de Leupe, 90400 SEVENANS
Salle : P111

Titre des travaux : Contribution à l'étude des réponses dynamiques des tissus humains sous des impacts à haute vitesse en utilisant la modélisation par éléments finis

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 60

Unité de recherche : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne

Directeur de thèse : Sébastien ROTH

Codirecteur de thèse : HDR NON HDR

Soutenance : Publique A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Sébastien ROTH	Professeur des universités	Université de technologie de Belfort Montbéliard	Directeur de thèse
M. Sébastien LAPORTE	Professeur des universités	ENSAM Paris	Rapporteur
Mme Anne-Sophie BONNET	Professeur des universités	Université de Lorraine	Rapporteuse
Mme Emmanuelle JACQUET	Maître de conférences	Université de Franche-Comté	Examinatrice
M. Eric WAGNAC	Professeur	Ecole de Technologie Supérieur	Examineur
M. François PEYRAUT	Professeur des universités	Université de technologie de Belfort Montbéliard	Examineur

Mots-clés : méthode des éléments finis, impact à haute vitesse, tissus humains, fracture des côtes, modélisation constitutive,

Résumé de la thèse (en français) :

Les blessures thoraciques surviennent fréquemment dans divers cadres de biomécanique d'impact à haute vitesse. Les fractures des côtes et les lésions pulmonaires sont les lésions les plus courantes des tissus durs et mous du thorax humain. Cette thèse vise à contribuer à l'étude des réponses dynamiques des tissus humains, en particulier des côtes et des tissus mous, sous des impacts à hautes vitesses en utilisant la modélisation par éléments finis. Premièrement, une nouvelle loi de comportement élasto-hydrodynamique dépendant de la vitesse de déformation du gel polymère synthétique Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene (SEBS) a été proposée et implémentée en tant que lois utilisateur dans Radioss (Altair Hyperworks) pour interpréter les comportements dynamiques du gel SEBS sous diverses configurations de chargement. Une corrélation essais/calcul valide la biofidélité du modèle et révèle que l'effet de dépendance à la vitesse de déformation est significatif dans le gel SEBS, en particulier pour les taux de déformation élevés, ce qui indique la nécessité de prendre en compte la dépendance à la vitesse de déformation lors de la modélisation du gel SEBS en tant que substitut des tissus mous humains. Ensuite, l'étape suivante a été d'examiner numériquement l'effet des paramètres géométriques et mécaniques sur les comportements dynamiques de côtes de porc isolées soumises à des impacts à haute vitesse utilisant des expérimentations de la littérature et les barres de Hopkinson (SHPB). Les études de sensibilité mettent en évidence l'effet significatif des paramètres géométriques sur les comportements dynamiques des côtes. Le mode de chargement et la sensibilité à la vitesse de déformation sont également étudiés. Une dernière étape consiste à développer des modèles EF de côtes humaines incluant diverses propriétés matériaux, (les propriétés du matériau de l'os cortical des côtes humaines, ainsi que les propriétés des matériaux des côtes de porcs) sous différents modes de chargement (tension et compression), et prenant en compte les vitesses de déformation et les âges des sujets, afin de mieux comprendre les réponses structurelles des côtes et les zones de fracture sous flexion antéro-postérieure dynamique. Les simulations donnant les relations force-déplacement, la déformation corticale, la rotation et les emplacements de fracture correspondent bien aux données expérimentales publiées. De plus, les réponses structurelles numériques des côtes se sont révélées sensibles aux propriétés du matériau, aux différents modes de chargement, aux vitesses de déformation et à l'âge. Par conséquent, il est nécessaire de prendre en compte ces facteurs lors de l'établissement des modèles numériques EF de ces structures. Globalement, cette thèse aide à mieux comprendre les réponses dynamiques des tissus humains dans des contextes d'impacts à hautes vitesses (HVI), et les lois de comportement du gel SEBS et des côtes peuvent être utilisées dans un modèle de thorax global pour des investigations des traumatismes sur le corps humains.

Abstract (in English):

Thoracic injuries happen frequently in various frameworks of high velocity impact biomechanics. Rib fractures and lung injuries are the most common hard and soft tissue injuries in human thorax. This thesis aims to contribute to the investigation of dynamic responses of human tissues especially ribs and soft tissues under high velocity impacts using finite element modeling. Firstly, a novel strain-rate-dependent elasto-hydrodynamic constitutive law of the synthetic polymer Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene (SEBS) gel was proposed and implemented as a user material subroutine in Radioss (Altair Hyperworks) to interpret dynamic behaviors of SEBS gel under various loading configurations. Numerical analysis validates the accuracy of the model and reveals that the strain-rate-dependence effect is significant in SEBS gel especially for high strain rates, which indicates the necessity of taking the strain rate dependence into consideration when modeling the SEBS gel as a human soft tissue substitute. Then, this study numerically investigated the effect of geometrical and mechanical parameters on dynamic behaviors of isolated porcine ribs submitted to high velocity impacts using three point bending (3PB) Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) apparatus. Sensitivity studies highlight the significant effect of geometrical parameters on dynamic behaviors of ribs, and the consideration of the effect of mechanical parameters like loading mode and strain rate sensitivity in FE rib models is also needed. Finally, this thesis also developed human rib FE models with various material properties including human rib cortical bone material properties from

different loading modes (tension and compression), strain rates and ages as well as porcine rib material properties, in order to better understand rib structural responses and fracture locations under dynamic anterior-posterior bending. Numerical force-displacement relationship, cortical strain, rotation and fracture locations correspond well with published experimental data. Moreover, numerical rib structural responses are found to be sensitive to human cortical bone material properties from different loading modes, strain rates and ages. Therefore, it is necessary to consider these factors when establishing rib FE models. Overall, this thesis helps better understand dynamic responses of human tissues in high velocity impact (HVI) contexts, and the proposed constitutive law of the SEBS gel and the established rib FE models can be employed in a global thorax model for human trauma investigations.