



Laboratoire
Génie Civil
et géo-Environnement
Lille Nord de France

Titre de la thèse :

Modélisation multi-échelle de la rupture multi-axiale et de l'auto-guérison dans les nanocomposites à base d'hydrogel

Multi-scale modeling of multi-axial failure and self-healing in hydrogel-based nanocomposites

Ecole Doctorale : ED ENGSYS

Directeur : Fahmi Zaïri

Coordonnées : fahmi.zairi@polytech-lille.fr

Co-Directeur

Coordonnées :

Encadrant(s) :

Equipe de recherche :

ER1 ER2 ER3 ER4 ER5

Financement prévu : MENESR

Résumé :

Parmi la nouvelle cohorte de matériaux intelligents, les nanocomposites à base hydrogel combinent l'avantage du renforcement à l'échelle nanométrique et les caractéristiques multi-physiques (chimiques, physiques, mécaniques et biologiques) des chaînes polymères. Leurs propriétés uniques offrent de nombreuses nouvelles opportunités dans un large éventail d'applications, notamment l'impression 3D, le traitement des eaux usées, l'ingénierie biomédicale, les actionneurs et le stockage d'énergie.

Leurs applications avancées nécessitent la formulation de modèles de comportement avec une compréhension détaillée des effets séparés et synergiques des paramètres clés (microstructure et histoire du chargement) qui régissent la réponse multi-physique du matériau. Cette thèse se veut une continuité des thèses récentes de l'équipe (Thèses Q. GUO et A. TAMOUD).

L'objectif de cette thèse est de proposer un nouveau modèle de comportement multi-axial, physiquement fondé, pour nanocomposites à base hydrogel, tenant compte de leur capacité d'étirage extrême (pouvant dépasser 3000%), leur caractéristique visqueuse, les processus de

déformation micromécanique conduisant à la rupture finale, leur capacité d'auto-guérison ainsi que les différents couplages avec l'environnement chimique et thermique. L'approche établira un lien direct entre la microstructure aux différentes échelles et la réponse macroscopique à partir d'une démarche multi-échelle. Les mécanismes de rupture et d'auto-guérison à l'échelle des chaînes polymères seront décrites au moyen de la mécanique statistique. Une transition d'échelle adéquate permettra d'introduire des éléments clés (variabilité de longueur des chaînes polymères, interaction avec les nanoparticules) pour reproduire la mécanique multi-axiale dans les systèmes hydrogel-nanoparticules jusqu'à la rupture d'un point de vue physique. Le projet de thèse débutera par la formulation du modèle dans un cadre thermodynamiquement cohérent, suivi de son implantation dans un code éléments finis et enfin de sa vérification expérimentale. Différents systèmes hydrogel-nanoparticules seront étudiés dans des conditions variées de conditions de chargements multi-axiaux (monotones et cycliques) et d'environnement.

Profil recherche : Le candidat devra avoir une bonne maîtrise de la Mécanique des Matériaux ainsi que de la Mécanique des Milieux Continus et avoir une aisance en Programmation.

Abstract:

Among the new cohort of smart materials, hydrogel-based nanocomposites combine the advantage of nanoscale reinforcement and the multiphysics (chemical, physical, mechanical and biological) features of polymer chains. Their unique properties offer many new opportunities in a wide range of applications, including 3D printing, wastewater treatment, biomedical engineering, actuators and energy storage.

Their advanced applications require the formulation of constitutive models with a detailed understanding of the separate and synergistic effects of key parameters (microstructure and loading history) that govern the multiphysics response of the material. This PhD thesis is intended to be a continuation of the recent PhD theses of the team (Theses Q. GUO and A. TAMOUD).

The objective of this PhD thesis is to propose a new physically-based constitutive model for multi-axial behavior of hydrogel-based nanocomposites, taking into account their extreme stretchability (which can exceed 3000%), their viscous feature, the micromechanical deformation processes leading to final fracture, their self-healing facility as well as the different couplings with the chemical and thermal environment. The approach will establish a direct link between the microstructure at different scales and the macroscopic response from a multiscale approach. The mechanisms of chain scission and self-healing at the polymer chain scale will be described using statistical mechanics. An adequate scale transition will allow the introduction of key elements (variability in length of polymer chains, interaction with nanoparticles) to reproduce multi-axial mechanics in hydrogel-nanoparticle systems until failure from a physical point of view. The thesis project will begin with the formulation of the model in a thermodynamically coherent framework, followed by its implementation in a finite element code and finally by its experimental verification. Different hydrogel-nanoparticle systems will be studied under various multi-axial loading (monotonic and cyclic) and environment conditions.

Profile: The candidate must have good skills in Mechanics of Materials as well as in Continuum Mechanics Theory and have an ease in Programming.