

Madame Claudia BINETTI

Spécialité "Electronique, microélectronique, nanoélectronique et micro-ondes"

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés

Effets thermiques dans les phénomènes de fracture et de décohésion : modèles multi-échelles basés sur la Mécanique Statistique

dirigés par Monsieur Stefano GIORDANO et Monsieur Giuseppe PUGLISI
Cotutelle avec l'université "Politecnico di Bari" (ITALIE)

Soutenance prévue le **mardi 02 décembre 2025** à 14h00

Lieu : Institut d'électronique de microélectronique et de nanotechnologie, Cité Scientifique, Avenue Henri Poincaré, CS 60069, 59 652
Villeneuve d'Ascq Cedex, France
Salle : Amphithéâtre de l'IEMN

Composition du jury proposé

M. Stefano GIORDANO	CNRS	Directeur de thèse
M. Giuseppe PUGLISI	DICATECh, Politecnico di Bari	Co-directeur de thèse
Mme Véronique LAZARUS	ENSTA Paris, Polytechnic Institute of Paris	Examinatrice
Mme Elsa BAYART	CNRS - ENS de Lyon - Laboratoire de Physique	Examinatrice
M. Djimedo KONDO	Sorbonne Université Paris	Examineur
M. Giuseppe FLORIO	DICATECh, Politecnico di Bari	Invité
M. Nicola Maria PUGNO	University of Trento	Invité

Mots-clés : Mécanique statistique, Température, Multi-échelle, Décohésion, Mécanique de la fracture, Transitions de phase

Résumé :

Les phénomènes de fracture et de décohésion dans les matériaux mous résultent de la rupture et du reformage de liaisons à l'échelle moléculaire. Malgré leur diversité, plusieurs réponses des systèmes artificiels et biologiques suivent des transitions analogues, comme le repliement-dépliement des protéines, les transformations martensitiques dans les alliages métalliques ou la propagation des fissures dans les structures d'ingénierie. Ces transitions sont fondamentales pour la conception de matériaux innovants, la nanotechnologie et la matière molle, incluant biomatériaux et substances de type caoutchouc. Ces systèmes partagent des caractéristiques avec la fracture et la décohésion qui font l'objet de cette thèse: (i) la présence de paysages énergétiques à bassins multiples, où des changements dans les conditions limites peuvent déclencher des transitions entre une multiplicité d'états métastables; (ii) l'émergence de réponses macroscopiques à partir d'interactions à petite échelle, comme la micro-fissuration conduisant à la défaillance des matériaux; et (iii) une sensibilité prononcée aux effets de température et de vitesse, comme la réduction de la force nécessaire pour la dénaturation de l'ADN ou pour la délamination de films minces avec l'augmentation de la température et de la vitesse de chargement. En s'appuyant sur ces aspects unificateurs, cette thèse développe et étudie des modèles multi-échelles qui prennent explicitement en compte les effets de la température dans une gamme de phénomènes de transition, incluant la propagation des fissures, les processus d'adhésion et de désadhésion, ainsi que la variation de rigidité des ressorts entropiques dans les polymères mécaniquement entrelacés (mechanically interlocked polymers, MIPs). Les applications vont de la mécanique classique à l'étude de biomatériaux, cytosquelettes artificiels, cellules synthétiques et portes logiques nano-mécaniques. Méthodologiquement, le cadre multi-échelles est ici mis en œuvre à travers la formulation concurrente de modèles discrets et de modèles en limite continue. Les modèles discrets intègrent les effets de la température via la mécanique statistique classique, capturant les fluctuations à l'échelle moléculaire et nanométrique, ce qui permet une dérivation rigoureuse des effets entropiques et thermiques sur le comportement en fracture et décohésion. Les modèles en limite continue décrivent les mécanismes d'élasticité et de propagation de fissure à l'échelle mésoscopique. Tous les résultats sont obtenus sous forme analytique fermée, fournissant ainsi une caractérisation rigoureuse des mécanismes physiques fondamentaux sous-jacents. Du point de vue méthodologique, la fracture et la décohésion sont analysées à l'aide d'une approche énergétique basée sur le critère d'énergie de Griffith. Une contribution clé de cette thèse est l'extension de ce critère classique pour incorporer explicitement l'influence des fluctuations thermiques. L'innovation principale réside dans la minimisation de l'énergie libre totale du système, avec des contributions entropiques ajoutées aux termes classiques de fracture. Des résultats analytiques sont obtenus pour la dépendance des termes d'énergie de rupture et de décohésion, ainsi que pour les contraintes et déformations limites correspondantes, y compris les contributions résultant de la température. Le cadre théorique proposé met en évidence des effets significatifs de la température, la charge critique diminuant avec l'augmentation de la température. Fait remarquable, une température critique est identifiée à laquelle le système subit une transition de phase, conduisant à la fracture ou à la décohésion même en l'absence de toute charge mécanique appliquée. Ces résultats offrent de nouvelles perspectives sur l'interaction entre température et phénomènes de fracture dans un cadre de mécanique multi-échelles, ouvrant des perspectives pour la conception rationnelle de matériaux et systèmes avancés dans divers domaines.