

## AVIS DE SOUTENANCE

## THESE DE DOCTORAT

Présentée par

**Mme : MOUNIA BENNOURA**

Discipline : Génie Mécanique

Spécialité : Génie Mécanique

**Sujet de la thèse :** Développement de modèles micromécaniques performants pour la conception multi-échelle de matériaux composites.

**Formation Doctorale :** Sciences de l'ingénieur, Sciences Physiques, Mathématiques et Informatique.

**Thèse présentée et soutenue le samedi 30 décembre 2017 à 10h au Centre de conférences devant le jury composé de :**

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
Bilal HARRAS	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Président
Chakib BOJJI	PES	ENSET de Rabat	Rapporteur
Redouane KOUDDANE	PES	Ecole Nationale des Sciences Appliquées Oujda	Rapporteur
Mohammed EL MAJDOUBI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Rapporteur
Jalil ABOUCHITA	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examineur
Abbass SEDDOUKI	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Examineur
Ahmed ABOUTAJEDDINE	PES	Faculté des Sciences et Techniques de Fès	Directeur de thèse

Rachid MOUDRIK	Chef de service/Manager, Bombardier, Canada	Invité
----------------	---	--------

Laboratoire d'accueil : Génie Mécanique.

Etablissement : Faculté des Sciences et Techniques de Fès

**Titre de la thèse :** Développement de modèles micromécaniques performants pour la conception multi-échelle de matériaux composites

**Nom de la candidate :** Mounia BENNOURA

**Spécialité :** Génie Mécanique

### Résumé de la thèse

Les défis incessants pour satisfaire les exigences des technologies récentes rendent les matériaux composites, grâce à leurs propriétés remarquables, la cible de toutes les applications d'ingénierie et de conception de matériaux. En effet, le développement de matériaux composites a considérablement augmenté au cours des deux dernières décennies. Cependant, leur utilisation et leur insertion restent confinées dans des niches sophistiquées d'applications, entravées par leur nature complexe, ce qui entraîne une forte dépendance aux tests expérimentaux de caractérisation, donc un temps et un coût de certification élevés. Ainsi; le paradigme s'est orienté vers une approche virtuelle pour la définition et la certification des matériaux, afin de réduire les coûts et le temps de développement, en remplaçant certains tests physiques par des simulations avancées. Néanmoins, les hypothèses et les idéalizations utilisées dans les modèles de comportement, intégrés dans ses outils de simulation, diminuent la confiance dans les tests virtuels et font que la caractérisation des matériaux composites soit encore pilotée par des tests expérimentaux exhaustifs sans bénéficier des avantages de la simulation virtuelle. Pour les matériaux composites, ces modèles sont principalement les modèles micromécaniques qui relient l'échelle microscopique à celle mésoscopique où ces matériaux sont conçus. Malheureusement, ces modèles restent embryonnaires et immatures pour cette perspective; d'une part, ils incluent beaucoup d'incertitudes, résultantes de leurs hypothèses intrinsèques ad hoc, et d'autre part, pratiquement tous les modèles de la littérature fournissent des prédictions moins précises pour les matériaux composites multiphasiques, ce qui influence négativement les résultats de prédiction générés par les outils de simulation virtuelle.

L'utilisation de matériaux composites avancés dans diverses applications nécessite la réduction des essais expérimentaux de caractérisation généralement laborieux et coûteux, grâce à une compréhension approfondie des propriétés de leurs microstructures complexes et de l'effet de l'environnement sur les matériaux. Cela exige le développement de modèles micromécaniques efficaces et robustes qui permettent de prédire le comportement de divers matériaux composites sous diverses conditions de chargement. Ce travail de recherche aborde ce problème par le développement d'un nouveau modèle micromécanique plus précis pour la modélisation de comportement des matériaux composites multiphasiques, et par la proposition d'un cadre systématique pour guider le processus de développement de ces modèles. Dans cette thèse, notre objectif principal est : comment contribuer efficacement à l'amélioration des modèles micromécaniques ? De ce fait nous avons évalué les modèles micromécaniques existants et nous avons souligné toutes les limites qui entravent leur utilisation et leur intégration dans la conception et la caractérisation des matériaux composites. Le travail de recherche est donc résumé dans:

Le développement d'un nouveau modèle micromécanique avec une nouvelle configuration, nommé double inclusion généralisé. Cette nouvelle estimation a deux apports : d'abord, basé sur la modélisation à double niveau, le modèle prend en considération d'une manière précise les deux types d'interaction, l'interaction matrice-inclusion et les inter-interactions entre les inclusions et donne une expression déterminée du module élastique effectif pour les matériaux multiphasiques. D'autre part, à l'aide d'une sélection combinée de trois paramètres modulaires; le modèle de double inclusion généralisé révèle une nouvelle façon innovante de présenter dans un seul modèle unifié les modèles existants, chaque choix de combinaison conduit à des estimations différentes.



**Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur**

Pour démontrer la précision, l'efficacité et la validité du modèle proposé pour différents types de matériaux composites, une comparaison avec les résultats expérimentaux et numériques est effectuée.

Motivé par l'effet pernicieux de l'incertitude dans les modèles existants, fruit principalement du développement intuitif basé sur des hypothèses et des idéalizations, nous avons tracé dans cette thèse les itinéraires pour améliorer le développement des modèles micromécaniques. Selon une approche de conception, une première et une simple version d'un cadre systématique a été proposée pour guider et mener d'une manière précise le développement d'un nouveau modèle. Ce cadre englobe trois éléments, le cadre des exigences, le plan de vérification et de validation et l'outil de niveau de maturité. Le cadre des exigences illustre les principales lacunes qu'il faut surmonter et les fonctions qui doivent être respectées par le modèle. Le plan de vérification et de validation oriente l'évaluation des fonctions, enfin, l'outil de niveau de maturité pour classer et évaluer les résultats de prédiction du modèle micromécanique développé.

L'objectif principal de ce travail est de tracer et d'initier un nouvel axe de recherche dans le domaine de la micromécanique, qui vise à établir une méthodologie systématique rationnelle pour développer de nouveaux modèles micromécaniques robustes, dans le but ultime de supporter le processus de conception et de caractérisation des matériaux composites

**Mots-clés:** Homogénéisation, modèle micromécanique, matériaux composites, conception de matériaux composites, tests de simulation virtuelle, approche de conception.