

Pôle des Etudes Doctorales
Centre des Etudes Doctorales Sciences et Techniques et Sciences Médicales

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT

Monsieur MAKAN Mustapha
Présentera ses travaux de recherche en vue de l'obtention du Doctorat



Formation Doctorale : Sciences et Techniques de l'Ingénieur
Discipline : Sciences des Matériaux
Spécialité : Mécanique et science des matériaux, nanocomposites

Le 06/06/2026 à 10H30 à la Salle des Soutenances de la Faculté des Sciences de Tétouan, UAE

Sous le thème

Étude atomistique du comportement mécanique et nanotribologique des nanocomposites à matrice métallique renforcés par des nanostructures de carbone

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr. LAHLAOUTI Mohammed Lhassane	FS de Tétouan, UAE	Président
Pr. RAHMOUNE Miloud	EST de Meknès, UMI	Rapporteur
Pr. EL-HAMI Khalil	Institut scientifique de Rabat, UM5	Rapporteur
Pr. EL ABOUTI Ossama	FST d'Al Hoceima, UAE	Rapporteur
Pr. ESSAOUINI Hilal	FS de Tétouan, UAE	Examineur
Pr. OUBENALI Mustapha	FST de Béni Mellal, USMS	Examineur
Pr. EL GHOULBZOURI Abdelouafi	ENSA d'Al Hoceima, UAE	Directeur

Structure de recherche : Laboratoire des Sciences Appliquées (LSA), ENSAH

Résumé



Cette thèse présente une étude approfondie par dynamique moléculaire des nanocomposites à base de nickel renforcés par des nanostructures de carbone, en mettant l'accent sur leur comportement mécanique et nanotribologique à différentes échelles et configurations. Le travail analyse de manière systématique comment les nanostructures carbonées, en particulier les réseaux de graphène (GNs) et les nanotubes de carbone (CNTs), améliorent les propriétés mécaniques des matrices métalliques lorsqu'elles sont intégrées stratégiquement selon différentes orientations interfaciales et géométries de renforcement.

La première partie de cette étude porte sur les composites nickel-graphène (Gr/Ni) soumis à des chargements en traction et en compression. Deux configurations de graphène, un feuillet unique et un GN, ont été évaluées pour trois orientations d'interface : Gr/Ni(100), Gr/Ni(110) et Gr/Ni(111). Les résultats montrent que le renforcement par le graphène améliore significativement la résistance, la rigidité et la ductilité des composites pour toutes les orientations cristallographiques étudiées, la configuration en GNs présentant une résistance à la traction et un module de Young supérieurs. Il est particulièrement notable que, si le graphène entrave efficacement le mouvement des dislocations sous traction, son effet est réduit sous compression en raison du flambement et de l'ondulation des feuillets. L'étude met également en évidence une amélioration marquée de la ductilité, notamment pour l'orientation Gr/Ni(111), où la configuration en GNs supporte plus de cinq fois la déformation du Ni pur avant rupture.

La seconde partie examine les nanofils de nickel (NiNWs) renforcés par des CNTs, en mettant l'accent sur la tolérance aux défauts et l'efficacité du renforcement. Trois configurations ont été étudiées : des nanofils creux avec CNT incorporés et des nanofils revêtus de CNT. L'orientation cristallographique $\langle 111 \rangle$ présente une résistance et une rigidité supérieures à celles de l'orientation $\langle 001 \rangle$. Bien que l'incorporation de nanotubes simple paroi (SWCNT) ou double paroi (DWCNT) améliore les performances mécaniques, les DWCNT offrant un renforcement plus efficace, l'amélioration la plus significative est obtenue par le revêtement des nanofils par des CNTs. Cette configuration conduit à une augmentation remarquable de la résistance ultime à la traction (jusqu'à 511%) et à une quasi-suppression de l'affaiblissement induit par les cavités. L'analyse de l'énergie interfaciale révèle un fort couplage mécanique et un effet de confinement prononcé dans les systèmes revêtus.

Grâce à des simulations de dynamique moléculaire, cette thèse établit des principes de conception essentiels pour les nanocomposites métalliques renforcés par le carbone, en démontrant l'influence déterminante de la conception des interfaces, de la géométrie du renforcement et de l'orientation cristallographique sur les performances mécaniques. Les résultats obtenus apportent des éléments clés pour le développement de nanocomposites avancés aux propriétés mécaniques ajustables, destinés à des applications exigeantes en nanoélectronique, catalyse et nanorobotique.

Mots clés : Dynamique moléculaire ; Nanocomposites métalliques ; Nickel ; Graphène ; Réseaux de graphène ; Nanotubes de carbone ; Nanofils de nickel ; Renforcement interfacial ; Orientation cristallographique ; Comportement mécanique ; Tolérance aux défauts ; Propriétés nanotribologiques.