

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

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT

Madame TRIBAK Ferdaous
Présentera ses travaux de recherche en vue de l'obtention du Doctorat



Formation Doctorale : Sciences Mathématiques, Physique et Nouvelles Technologies
Discipline : Physique
Spécialité : Mécatronique

Le 16/05/2026 à 12H00 à la Salle des Réunions du Département de Biologie de la Faculté des Sciences de Tétouan, UAE

Sous le thème

Approche Mécatronique Avancée pour la Gestion Thermique des Nanosatellites : Optimisation Passive et Contrôle Actif Embarqué

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr. EL MRABET Otman	FS de Tétouan, UAE	Président
Pr. EL BAHAOUI Jalal	FS de Tétouan, UAE	Rapporteur
Pr. KANJAA Mohammed	FS de Tétouan, UAE	Rapporteur
Pr. BAGHLI Fatima Zahra	EST de Béni Mellal, USMS	Rapporteur
Pr. SAMOUDI Bousselham	FS de Tétouan, UAE	Examineur
Pr. LAKHAL Yassine	EST de Beni Mellal, USMS	Examineur
Pr. ASSELMAN Adel	Chercheur Indépendant	Expert
Pr. BENDAOU Othmane	FS de Tétouan, UAE	Directeur

Structure de recherche : Équipe d'optique, matériaux et systèmes (OMS) ; FS – Tétouan-UAE

Résumé



L'essor des nanosatellites, notamment des CubeSats et des PocketQubes, a profondément transformé l'accès à l'espace en permettant des missions compactes et économiques. Cette miniaturisation extrême s'accompagne cependant de défis thermiques majeurs : faible inertie, transitions Soleil-éclipse rapides, surfaces d'échange limitées et forte exposition aux flux radiatifs orbitaux. Dans ce contexte, les approches classiques atteignent leurs limites, ce qui impose une méthodologie intégrée et prédictive pour garantir la fiabilité de ces plateformes.

Cette thèse développe un cadre unifié de gestion thermique qui articule, de manière cohérente, une modélisation numérique haute-fidélité, une méta-modélisation polynomiale précise, une analyse probabiliste avancée de la fiabilité et une optimisation multi-objectifs. Cette approche intégrée permet d'optimiser la gestion thermique passive d'un CubeSat tout en proposant, pour les PocketQubes, un contrôle thermique actif adaptatif capable de compenser les limites induites par leur miniaturisation extrême.

L'application à un CubeSat 1U a permis le développement d'un modèle tridimensionnel sous COMSOL Multiphysics, fidèle à la dynamique thermique orbitale. Les méta-modèles dérivés facilitent l'évaluation probabiliste du risque thermique ainsi que l'identification de configurations orbitales optimisées. Les résultats montrent que l'angle β peut constituer un levier de conception efficace pour améliorer la stabilité thermique et la fiabilité du CubeSat.

La méthodologie est ensuite appliquée au SMOG-1, un PocketQube dont la compacité impose une révision complète des stratégies thermiques. Un modèle ANSYS Workbench met en évidence les limites des approches passives face aux variations rapides et à l'inertie quasi nulle du système. Pour y répondre, une stratégie hybride innovante est développée, combinant optimisation passive et régulation active intelligente exploitant le module de communication comme source thermique modulable. Les commandes réactive, prédictive et anticipative stabilisent le satellite tout en respectant le budget énergétique très contraint.

Ces travaux établissent un cadre de conception thermique robuste et transférable à d'autres plateformes ultra-miniaturisées. Ils montrent que la miniaturisation constitue une opportunité pour développer des stratégies thermiques intelligentes associant modélisation, analyse du risque, optimisation et contrôle pour des nanosatellites plus fiables et autonomes. Les perspectives incluent l'extension aux constellations, les jumeaux numériques thermiques et des approches d'apprentissage automatique pour un contrôle embarqué adaptatif.

Mots clés : Gestion thermique avancée ; Environnement orbital LEO ; Modélisation thermique haute-fidélité ; Méta-modélisation polynomiale ; Analyse de fiabilité probabiliste ; Optimisation multi-objectifs ; Contrôle actif intelligent ; Nanosatellites.