



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Madame Narimane BLANCHETE

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Sciences de l'ingénieur

Spécialité : Génie Énergétique

Le Samedi 18 Janvier 2025 à 15h00 au Grand Amphi à l'ENSAM de Rabat

Intitulé de la thèse

Approche Intégrée pour la Conception, l'Analyse et le Test du Système de Contrôle Thermique des CubeSats : Modélisation des Contacts Thermiques et Simplification Géométrique

Président :

Pr. Zouhair GUENNOUN, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Directeur de thèse :

Pr. Abdellah BAH, PES, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Najma LAAROUSSI, PES, EST de Salé, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Moha CHERKAOUI, PES, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat

Pr. Mohamed Karim ETTOUHAMI, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Examineur :

Pr. Mustapha MALHA, MCH, ENSAM, Université Mohammed V de Rabat

Invités :

Dr. Zakaria Moudden, Centre Royal d'Études et de Recherches Spatiales

Dr. Jamila HASSAR, Centre Royal d'Études et de Recherches Spatiales



Résumé: Cette thèse porte sur la conception, l'analyse et la validation thermique des CubeSats, en particulier dans le cadre du développement de deux nanosatellites universitaires, UM5-EOSAT et UM5-RIBAT. L'objectif principal est de répondre aux défis thermiques spécifiques posés par l'environnement spatial, notamment en optimisant la gestion thermique pour garantir le bon fonctionnement des CubeSats durant leurs missions en orbite. Les CubeSats, par leur petite taille et leur conception modulaire, sont soumis à des conditions thermiques extrêmes, rendant la gestion de la dissipation et de la régulation de la chaleur cruciale pour la survie de leurs composants.

Pour relever ces défis, la thèse propose plusieurs contributions théoriques et pratiques. Tout d'abord, des modèles thermiques avancés ont été développés, intégrant des corrélations plus précises pour modéliser les contacts thermiques entre les sous-systèmes du CubeSat. Ces modèles permettent de simuler avec plus de précision les échanges thermiques dans des conditions d'interface difficiles, prenant en compte des phénomènes tels que la rugosité des surfaces et les conditions de contact non idéales.

Ensuite, la thèse introduit une méthodologie de simplification géométrique optimisée, qui permet de réduire la complexité des modèles sans compromettre la précision des simulations thermiques. En simplifiant la modélisation des sous-systèmes critiques tout en maintenant des propriétés thermiques essentielles comme la conductivité et la capacité calorifique, il a été possible de réduire les temps de calcul tout en garantissant des résultats fiables. Cette simplification a été validée par des comparaisons entre modèles détaillés et simplifiés.

Un autre apport clé est la mise en place d'un Framework complet pour la conception, l'analyse et le test thermique des CubeSats. Ce Framework guide toutes les étapes, de la modélisation géométrique et mathématique à la validation expérimentale par des tests en chambre à vide thermique. Ce cadre méthodologique a été appliqué avec succès sur les CubeSats UM5-EOSAT et UM5-RIBAT, démontrant son efficacité et permettant une évaluation rigoureuse des performances thermiques des satellites.

Enfin, des tests expérimentaux en chambre à vide thermique ont permis de valider les hypothèses théoriques et les modèles de simulation. Les résultats des tests ont montré que les marges thermiques calculées étaient cohérentes avec les mesures réelles, prouvant ainsi l'efficacité des modèles proposés.

Cette thèse représente une avancée significative dans le domaine de la gestion thermique des CubeSats, en proposant des solutions innovantes et validées pour améliorer les performances thermiques des petits satellites. Les contributions théoriques, pratiques et expérimentales posent les bases pour des recherches futures, avec des perspectives d'amélioration des modèles thermiques, d'optimisation des matériaux et de développement de nouvelles stratégies de contrôle thermique pour des missions spatiales de plus en plus complexes.

Mots-clés: Contact thermique, Contrôle thermique, CubeSat, Modèle géométrique simplifié, Modèle mathématique thermique, Nanosatellite, Test thermique.



Abstract: This thesis focuses on the design, analysis, and thermal validation of CubeSats, specifically within the framework of the development of two university nanosatellites, UM5-EOSAT and UM5-RIBAT. The main objective is to address the specific thermal challenges posed by the space environment, particularly optimizing thermal management to ensure the proper functioning of CubeSats during their orbital missions. CubeSats, due to their small size and modular design, are exposed to extreme thermal conditions, making heat dissipation and regulation critical for the survival of their components.

To meet these challenges, this thesis presents several theoretical and practical contributions. First, advanced thermal models were developed, incorporating more precise correlations to simulate thermal contacts between CubeSat subsystems. These models allow for more accurate simulations of thermal exchanges under difficult interface conditions, taking into account factors such as surface roughness and non-ideal contact conditions.

Next, the thesis introduces an optimized geometric simplification methodology that reduces the complexity of the models without compromising the accuracy of thermal simulations. By simplifying the modeling of critical subsystems while preserving essential thermal properties such as conductivity and heat capacity, it was possible to reduce computation time while ensuring reliable results. This simplification was validated through comparisons between detailed and simplified models.

Another key contribution is the establishment of a comprehensive framework for the design, analysis, and thermal testing of CubeSats. This framework guides all phases, from geometric and mathematical modeling to experimental validation through thermal vacuum tests. This methodological approach was successfully applied to the UM5-EOSAT and UM5-RIBAT CubeSats, demonstrating its effectiveness and enabling a thorough evaluation of the satellites' thermal performance.

Finally, experimental tests in a thermal vacuum chamber were conducted to validate the theoretical hypotheses and simulation models. The test results showed that the calculated thermal margins were consistent with real measurements, proving the effectiveness of the proposed models.

This thesis represents a significant advance in the field of CubeSat thermal management by offering innovative and validated solutions to enhance the thermal performance of small satellites. The theoretical, practical, and experimental contributions provide a solid foundation for future research, with prospects for improving thermal models, optimizing materials, and developing new thermal control strategies for increasingly complex space missions.

Keywords: CubeSat, Mathematical thermal modeling, Nanosatellite, Simplified geometrical model, Thermal control, Thermal contact conductance, Thermal testing.