

**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**

**Chaimae BENJBARA**

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Informatique

**Le Vendredi 02 Décembre 2022 à 16h00 au Grand amphi à l'ENSIAS**

**Intitulé de la thèse**

# **NOVEL MULTI-PATH COMMUNICATION APPROACH IN SMART HETEROGENEOUS MOBILE ENVIRONMENT**

**Devant le Jury composé de :**

**Président :**

Pr. Mohamed ESSAAIDI, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Directeur de thèse :**

Pr. Ahmed HABBANI, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

**Rapporteurs :**

Pr. Driss BENHADDOU, Full Professor, University of Houston, USA

Pr. Jamal EL ABBADI, PES, EMI, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Mohammed BOULMALF, PES, Université Internationale de Rabat

**Examineurs :**

Pr. Abdellatif EL AFIA, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Mohamed LAZAAR, PH, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

Pr. Najia ESSBAI, PES, FST, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès





**Résumé :** Ce travail de recherche aborde le problème de la communication au sein de réseaux ad hoc hétérogènes. Dans ce contexte, une nouvelle méthode de transmission générique a été proposée, adaptée à toute architecture composée de deux ou plusieurs types de nœuds ad hoc, appelée MHAR, qui manipule tous les éléments du réseau tout en préservant et respectant leurs caractéristiques.

Dans un premier temps, nous avons réalisé une étude théorique, basée sur l'élaboration d'un modèle graphique utilisant des réseaux de Petri colorés, transformés en un système d'équations mathématiques employant l'algèbre  $(\max, +)$ . Pour analyser et prédire le comportement de notre concept, sous l'aspect d'un système à événements discrets, afin de l'optimiser par la suite.

Ensuite, nous avons effectué des tests pratiques sous NS3 d'un nouveau protocole qui combine le principe de notre solution avec la version standard de OLSR, appelé MHAR-OLSR, au sein d'un réseau hétérogène dédié qui regroupe des nœuds mobiles, véhiculaires et volants. Les résultats obtenus reflètent des gains de 72% et 51%, respectivement, dans le taux de livraison de paquets (PDR) et le débit. En outre, les économies de délai de bout en bout (E2E) sont d'environ 51% et l'énergie par paquet de 32%. Nous concluons que cette nouvelle version fournit une connexion homogène dans une structure hétérogène qui est meilleure que l'OLSR original.

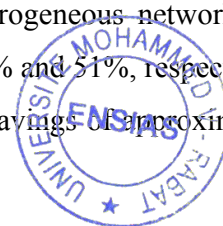
Enfin, nous avons choisi l'agriculture comme domaine d'application dans lequel nous avons proposé une solution optimale, moins coûteuse et plus facile à gérer. Elle se présente sous la forme d'une nouvelle architecture autonome et sans infrastructure qui exploite les équipements de terrain existants, basée sur la norme ad hoc adoptant MHAR comme protocole de communication.

**Mots-clés :** Agritech, algèbre Dioïde, FANET, MANET, MP-OLSR, multi-chemin, IoT, OLSR, Réseau ad hoc hétérogène, Réseau Petri coloré, VANET.

**Abstract:** This research work addresses the problem of communication within heterogeneous ad hoc networks. In this context, a new generic transmission method has been proposed, adapted to any architecture composed of two or more types of ad hoc nodes, called Multipath Heterogeneous Ad hoc Routing protocol (MHAR), which manipulates all the network elements while preserving and respecting their characteristics.

As a first step, we carried out a theoretical study, based on the graphical model elaboration using colored Petri nets, transformed into a system of mathematical equations employing algebra  $(\max, +)$ . To analyze and predict the behavior of our concept, with the aspect of a discrete event system, to optimize it later.

Then, we performed practical tests under NS3 of a new protocol that combines the principle of our solution with the standard version of OLSR, called MHAR-OLSR, within a dedicated heterogeneous network that regroups mobile, vehicular, and flying nodes. The results obtained reflect gains of 72% and 51%, respectively, in packet delivery ratio (PDR) and throughput. In addition, end-to-end (E2E) delay savings of approximately





جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

51% and energy per packet of 32%. We conclude that this new version provides a homogeneous connection in a heterogeneous structure that is better than the original OLSR.

Finally, we chose agriculture as an application domain in which we proposed an optimal, less expensive, and more manageable solution. It is in the form of a new autonomous and infrastructure-free architecture that exploits existing field equipment, based on the ad hoc standard adopting MHAR as a communication protocol.

**Keywords:** Agritech; colored Petri nets; dioid algebra; flying ad hoc network; heterogeneous ad hoc network; IoT; mobile ad hoc network; MP-OLSR; multipath routing protocol; optimized link state routing; vehicular ad hoc network.

