IMT Nord Europe
École Mines-Télécom
IMT-Université de Lille

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

AVIS DE SOUTENANCE

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Spécialité : Génie Informatique, Automatique et Traitement de signal

Présentée par :

Dr. Lala Herimanjaka RAJAOARISOA
Maître de conférences à l'Institut Mines-Télécom Nord Europe

Intitulée :

Contribution au diagnostic et à la commande des systèmes cyber-physiques de grande dimension

soutenance prévue le 23 Juin 2025
à 13h30, à l'IMT Nord Europe, 941 Rue Charles Bourseul, Douai
(Salle polyvalente)

devant le jury composé de :

Rapporteure	Pr. BARROS Anne – CentraleSupélec, Université Paris Saclay
Rapporteur	Pr. BOURDAIS Romain – ECS, IETR de Rennes
Rapporteur	Pr. RAKONTODRABE Micky – UT. de Tarbes Occitanie Pyrénées
Examinateur	Pr. LOFTI Belkoura – Université de Lille
Examinateur	Pr. THIRIET Jean-Marc – Université de Grenoble Alpes
Examinateur	Pr. PANETTO Hervé – Université de Lorraine
Examinateur	Pr. RASOLOFONDRAIBE Lanto – Université de Reims Champagne-Ardenne
Garant	Pr. DUVIELLA Eric – IMT Nord Europe

Résumé :
L'observation et le contrôle des systèmes complexes à grande échelle posent des défis majeurs dans divers domaines tels que l'environnement, les infrastructures critiques et les villes intelligentes. Ces systèmes sont caractérisés par une production massive de données, une interconnexion de sous-systèmes hétérogènes et des comportements imprévisibles. Cette complexité est particulièrement marquée dans les systèmes cyber-physiques (SCPs), où l'intégration de composants physiques et numériques remet en question les approches classiques d'observation et de commande, nécessitant ainsi le développement de nouvelles stratégies pour assurer leur stabilité et optimiser leurs performances. Mes travaux de recherche se concentrent sur l'observation et la commande des SCPs en exploitant des approches basées sur les données et l'intelligence artificielle. J'ai développé des techniques d'observation avancées permettant de détecter des anomalies et d'anticiper d'éventuelles défaillances afin de garantir un fonctionnement fiable. Toutefois, l'étude et la validation des propriétés comportementales des SCPs restent complexes en raison de leur hétérogénéité et de leur répartition géographique. Une difficulté majeure réside dans la propagation des défauts entre sous-systèmes, rendant l'identification des causes profondes et la prédiction des défaillances particulièrement ardues. Pour surmonter ces défis, mes recherches proposent une approche intégrée combinant observations localisées et méthodes de diagnostic adaptatives, distribuées ou décentralisées. J'ai notamment conçu des modèles simplifiés pour la supervision des SCPs, enrichis par des techniques d'apprentissage dynamique afin d'améliorer leur fiabilité. Ces approches permettent non seulement de détecter et localiser rapidement les défauts, mais aussi de fournir des explications précises sur leur origine, facilitant ainsi les interventions correctives et préventives. En complément, des méthodes d'inférence avancées ont été développées afin d'aider les opérateurs à prendre des décisions éclairées en cas d'anomalie. Enfin, je me suis également intéressé à la stabilisation des SCPs via des stratégies de contrôle innovantes. J'ai exploré des approches telles que la commande prédictive à modèles commutants, le contrôle décentralisé coopératif et la commande distribuée avec optimisation des communications. Ces méthodes offrent un équilibre entre autonomie locale et coordination globale, renforçant la résilience des systèmes face aux perturbations. L'ensemble de ces contributions constitue une base solide pour le développement de solutions de contrôle intelligent adaptées aux SCPs de grande échelle, avec des applications concrètes dans des secteurs tels que l'énergie renouvelable, le bâtiment intelligent et la gestion des réseaux hydrauliques. Les différentes investigations présentées ci-dessus ont mis en évidence la convergence entre l'automatique — en particulier la théorie du contrôle et les systèmes dynamiques — et l'informatique, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA). Cette complémentarité ouvre la voie à de nouvelles approches en matière de modélisation, d'optimisation et de prise de décision dans les SCPs. La soutenance se conclut par une discussion sur plusieurs perspectives de recherche prometteuses, centrées sur l'intégration croissante entre l'automatique et l'IA pour le développement des SCPs de nouvelle génération.