

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES HDR

NANTES UNIVERSITE

Spécialité : Informatique

Par

Dr. Hugo BRUNELIERE

Continuous Model-Based Engineering of Software-Intensive Systems: Approaches, Frameworks, and Languages

Travaux présentés et soutenus à Nantes, le lundi 7 juillet 2025

Unité de recherche : IMT Atlantique Bretagne Pays de la Loire – Campus de Nantes,
Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes / LS2N (UMR CNRS 6004)

Rapporteurs avant soutenance :

Michel R. V. CHAUDRON	Professeur – Eindhoven University of Technology, The Netherlands
Alfonso PIERANTONIO	Professeur – Università degli Studi dell'Aquila, Italy
Houari SAHRAOUI	Professeur – Université de Montréal, Quebec, Canada

Composition du Jury :

Président :	Prénom NOM	Fonction et établissement d'exercice (à préciser après la soutenance)
Examineurs :	Michel R. V. CHAUDRON	Professeur – Eindhoven University of Technology, The Netherlands
	Alfonso PIERANTONIO	Professeur – Università degli Studi dell'Aquila, Italy
	Houari SAHRAOUI	Professeur – Université de Montréal, Quebec, Canada
	Andreas WORTMANN	Professeur – University of Stuttgart, Germany (pré-rapporteur)
	Dalila TAMZALIT	Professeure – Nantes Université, France

Titre : Ingénierie Continue et Basée sur les Modèles des Systèmes à Forte Composante Logicielle : Approches, Frameworks et Langages

Mots clés : Ingénierie du Logiciel, Ingénierie des Systèmes, Ingénierie Basée sur les Modèles (IBM), Approches, Frameworks, Langages.

Résumé : Les Systèmes à Forte Composante Logicielle (SFCLs) sont des systèmes au sein desquels le logiciel influence largement leur ingénierie et exécution globale. L'avènement de l'ingénierie continue et des approches DevOps a stimulé l'itération et la parallélisation des activités d'ingénierie correspondantes. Cependant, cela pose plusieurs challenges liés au passage à l'échelle des processus d'ingénierie, à la complexité des systèmes conçus et à l'hétérogénéité des ressources sous-jacentes. Pour surmonter de tels challenges, je propose de s'appuyer les principes et techniques de l'Ingénierie Basée sur les Modèles (IBM). L'IBM est un paradigme d'ingénierie logicielle et système dans lequel les modèles sont considérés comme des artefacts de première classe décrivant différents aspects du système, des activités d'ingénierie et des artefacts ou données d'ingénierie. Dans cette thèse, je fais le tour d'horizon d'une décennie de recherche se focalisant

principalement sur l'IBM continue des SFCLs. Dans ce contexte, j'ai contribué un ensemble d'approches basées sur les modèles, de frameworks supports, et de langages de modélisation associés, ciblant les principales phases du cycle de vie de tels systèmes. Les contributions de recherche proposées couvrent à la fois les phases en amont (analyse, conception) et en aval (développement, intégration). Elles couvrent également des activités complémentaires importantes de ce cycle de vie, liées au déploiement et à l'auto-adaptation. Sur cette base, je fournis une feuille de route de recherche visant l'Ingénierie Continue et Basée sur les Modèles des Futurs SFCLs. Par Futurs SFCLs, j'entends les SFCLs ayant le logiciel comme fondation première, s'appuyant fortement sur l'Intelligence Artificielle (AI) / Machine Learning (ML) et étant hautement auto-adaptatif, tout en en prenant également en compte leur impact global en terme de responsabilité.

Title : Continuous Model-Based Engineering of Software-Intensive Systems: Approaches, Frameworks, and Languages

Keywords : Software Engineering, Systems Engineering, Model-Based Engineering (MBE), Approaches, Frameworks, Languages.

Abstract : Software-Intensive Systems (SISs) are systems in which software influences, to a large extent, their whole engineering and execution. The progressive advent of continuous engineering and DevOps approaches fostered the iteration and parallelization of corresponding engineering activities. However, this poses several challenges related to the scalability of the engineering processes, the complexity of the engineered systems, and the heterogeneity of the underlying engineering resources. To overcome such challenges, I propose to rely on Model-Based Engineering (MBE) principles and techniques. MBE is a software and systems engineering paradigm in which models are considered as first-class artifacts describing different aspects of the system, related engineering activities, and engineering artifacts or data. In this thesis, I overview a decade of research work primarily focusing on the

continuous MBE of SISs. In this context, I contributed a set of model-based approaches, supporting frameworks, and related modeling languages, targeting main phases of the life cycle of such systems. The proposed research contributions cover both early phases (analysis, design) and later phases (development, integration). They also cover important complementary engineering activities within this life cycle, related to deployment and self-adaptation. On this basis, I provide a research roadmap targeting the Continuous Model-Based Engineering of Future SISs. By Future SISs, I mean SISs having software at their very core, relying heavily on Artificial Intelligence (AI) / Machine Learning (ML), and being highly self-adaptive, while also taking into account their global impact in terms of responsibility.