

PhD : Approches de gestion de l'évolution des modèles

Directeur : `ciprian.teodorov@ensta.fr`

Encadrants : `sylvain.guerin@imt-atlantique.fr`, `dominique.blouin@telecom-paris.fr`

Localisation : ENSTA, Site de Brest, France

Mots-clés : Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM), Fédération de Modèles, Evolution et versionnement des Modèles

Équipe : P4S Lab-STICC (UMR 6285), <https://p4s.enstb.org>

Résumé

Dans de nombreux domaines (industrie, défense) où les systèmes deviennent de plus en plus complexes et impliquent un grand nombre d'acteurs et de préoccupations, les approches MBSE (Model Based System Engineering) sont aujourd'hui très utilisées. Le MBSE est en effet reconnu pour son potentiel à améliorer la spécification, la conception et le développement de systèmes.

Plusieurs défis significatifs liés à une large adoption du MBSE par les industriels sont à relever. L'hétérogénéité et la diversité des modèles et des outils à prendre en compte constituent un premier obstacle. Les approches de Model Management (gestion des modèles) tentent d'y répondre, notamment par des propositions comme ACMoM ou Openflexo avec le langage FML (fédération de modèles). Un deuxième défi consiste à considérer l'évolution des modèles, pour garantir que tous les artefacts produits par différents outils restent pertinents et cohérents au fil du temps. Dans ce cadre, la notion de source de vérité (ASoT pour *Authoritative Source of Truth*) capture ce besoin d'assurer la cohérence d'un système qui évolue.

L'objectif de cette thèse est d'analyser comment les modèles évoluent au fil du temps et d'étudier les mécanismes permettant d'assurer une transition fluide entre différentes versions. Il s'agit de développer des approches pour tracer, gérer et formaliser ces évolutions afin de garantir une meilleure continuité dans le processus de conception.

Cadre

Cette thèse s'effectuera dans le cadre du projet AUGMENT (financement DGA, pilotage CIEDS), en coopération avec Télécom Paris, l'ENSTA Bretagne et IMT Atlantique. Elle sera réalisée au sein de l'équipe P4S du Lab-STICC, dans les locaux de l'ENSTA sur le site de Brest. Les travaux sur l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) et plus particulièrement le *Model Management* et la fédération de modèles constituent des axes de recherche stratégique de l'équipe P4S.

Problématique

La modélisation est une pratique universelle à la base de la pensée humaine, pour concevoir, comprendre, imaginer, analyser, communiquer. Un modèle est ici une représentation simplifiée de la réalité par rapport à une préoccupation donnée. L'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) se propose de systématiser l'utilisation des modèles dans toutes les tâches liées au cycle de vie des logiciels. Le MBSE, ou *Model-Based Systems Engineering* propose la généralisation de l'utilisation des modèles dans le cadre de l'Ingénierie Système (IS), c'est-à-dire dans toutes les tâches liées à toutes les activités d'ingénierie tout au long du cycle de vie d'un système.

Dans de nombreux domaines (industrie, défense) où les systèmes deviennent de plus en plus complexes et impliquent un grand nombre d'acteurs et de préoccupations, les approches MBSE sont aujourd'hui très utilisées. Le MBSE est reconnu pour son potentiel à améliorer la spécification, la conception et le développement de systèmes. Les approches MBSE permettent l'amélioration de la traçabilité entre les exigences, les fonctions, l'architecture, etc.. Elles permettent également de réduire les erreurs grâce à une meilleure cohérence des informations, une visualisation claire du système, facilitant la compréhension entre les équipes et une collaboration facilitée entre les différentes disciplines (mécanique, logicielle, électronique). Des entreprises telles que Safran Electronics and Defense (SED), Safran Aerosystems, Airbus, Thalès mais également le DoD américain et la Nasa sont en train ou ont déjà placé le MBSE au cœur de leur stratégie de développement numérique.

Toute approche MBSE est confrontée à des défis significatifs liés à la diversité des modèles, de leurs langages, et de leurs paradigmes. Cette hétérogénéité complique la gestion de la cohérence des modèles et leur capacité à s'adapter aux exigences opérationnelles qui sont en évolution permanente. Les approches de gestion des modèles (MoM pour Model Management) tentent de répondre à la problématique de l'hétérogénéité [1]. Les méthodes et outils liés à la question de l'interopérabilité sémantique des nombreux modèles utilisés lors du développement de systèmes complexes ont été explorés dans le cadre de plusieurs projets de recherche et de projets industriels [2]. L'approche "fédération de modèles", incarnée par la technologie Openflexo [5, 4, 8], permet de fédérer ces modèles en définissant des points de vues sur ces modèles, tout en préservant leur espaces techniques spécifiques (format et outils) et leur cohérence. Le projet de recherche ACMoM (Architecture-Centric Model Management), financé par le DoD américain a permis de développer l'approche outillée de gestion de modèles du même nom [3, 6, 7]. Cette approche permet de représenter formellement les nombreux langages de modélisation et leurs modèles mis en œuvre lors de la conception de systèmes complexes, ainsi que les relations entre ces modèles et les éléments de ces modèles permettant de préserver leur cohérence. Elles peuvent également déléguer leur comportement à des transformations / synchronisations implémentées par d'autres outils de transformation de modèles.

Cependant, un des principaux freins à l'adoption du MBSE est le manque de stratégie de gestion des modèles, qui requiert une approche systématique pour garantir que les modèles restent pertinents et cohérents au fil du temps. La notion de source de vérité faisant autorité (ASoT pour Authoritative Source of Truth) est cruciale pour identifier quels modèles doivent être modifiés afin de maintenir cette cohérence. Sans une gestion rigoureuse de l'ASoT, les équipes d'ingénierie risquent de travailler avec des modèles obsolètes ou incohérents, ce qui peut compromettre la réussite des missions, en particulier dans des contextes critiques comme ceux de la défense.

Cette thèse se propose d'étudier la gestion de l'évolution des modèles. Les activités de l'ingénierie système fourniront un cadre métier de référence. Il s'agira d'observer, d'analyser et de caractériser l'évolution de modèles au fil du temps, et d'étudier les mécanismes permettant d'assurer une transition fluide entre différentes versions. L'objectif est de contribuer à une approche pour tracer, gérer et formaliser ces évolutions afin de garantir une meilleure continuité dans le processus de conception.

Axes de travail envisagés

La méthodologie générale consistera à s'appuyer sur un mécanisme d'organisation et de gestion des modèles. Dans un premier temps, la fédération de modèles avec Openflexo et le framework ACMoM seront comparés.

Il s'agira ensuite d'observer, d'analyser et de caractériser l'évolution de modèles au fil du temps dans différents cadres métier. Ce travail pourra s'appuyer sur plusieurs expérimentations liées aux activités de l'ingénierie système, et sur des cas d'utilisation industriels. On s'intéressera à l'évolution des artefacts (des modèles) produits avec différents outils et par différents acteurs dans le cadre de divers processus métier. Ceci soulève de nombreuses problématiques métier, comme par exemple la gestion de la co-évolution [9]. D'un point de vue technique, il s'agit également de proposer une réification de la notion de "version" et une sémantique. Certains artefacts pourront ainsi être versionnés avec un outil

de gestion de version (par exemple *git* ou *svn*¹), d'autres artefacts ne se seront pas (ou utiliseront une stratégie de nommage *ad hoc* sur le système de fichiers courant). Parfois, ce pourra être aussi l'outil qui fournit une "version" d'un artefact.

Dans ce contexte de modélisation hétérogène (outils, versionning), les travaux se poursuivront par la proposition, le développement et la comparaison de diverses approches permettant d'assurer la cohérence de l'évolution de l'ensemble des modèles liés.

Les aspects *design multiverse* [10] pourront également être explorés dans le cadre de ces travaux.

Compétences attendues du candidat

Le candidat devra avoir des compétences (ou être capable de les acquérir rapidement) dans les domaines suivants :

- développement logiciel
- modélisation et métamodélisation (Ingénierie Dirigée par les Modèles - IDM)
- curiosité pour les problématiques métier
- langue anglaise (conversation basique du quotidien, anglais professionnel)

Comme pour toute thèse, le candidat devra être attiré par la recherche, et faire preuve d'ouverture, de curiosité et d'autonomie.

L'équipe de recherche

L'équipe P4S est membre du pôle SHARP du laboratoire Lab-STICC (UMR 6285). Son nom est un acronyme de "*Processes for Safe and Secure Software and Systems*".

L'équipe s'intéresse aux méthodes et aux outils permettant de spécifier et de décrire systèmes et logiciels pour en assurer la sûreté et la sécurité. L'équipe P4S s'appuie sur des experts en modélisation et en métamodélisation de systèmes et de processus.

La thèse proposée est au cœur de l'activité de P4S, de par notamment les travaux autour de la fédération de modèles. Le présent sujet de thèse est une opportunité de rejoindre une équipe dynamique et déjà mobilisée sur ces thématiques.

Contact

Prise de contact, questions et informations pour une éventuelle candidature :

- ciprian.teodorov@ensta.fr
- sylvain.guerin@imt-atlantique.fr
- dominique.blouin@telecom-paris.fr

Références

- [1] Moussa Amrani, Rakshit Mittal, Miguel Goulão, Vasco Amaral, Sylvain Guérin, Salvador Martínez, Dominique Blouin, Anish Bhowe, and Yara Hallak *A Survey of Federative Approaches for Model Management in MBSE*, First International Workshop on Model Management (MoM), 27th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS), 2024
- [2] Yara Hallak, Dominique Blouin, Laurent Pautet, Layale Saab, Baptiste Laborie, and Rakshit Mittal *Model Management at Renault Virtual Simulation Team : State of Practice, Challenges*

1. Quid alors de la coexistence de plusieurs versions d'un artefact pour gérer une co-évolution explicite ?

- and Research Directions, First International Workshop on Model Management (MoM), 27th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS), 2024.
- [3] Rakshit Mittal, Dominique Blouin, Anish Bhobe, Soumyadip Bandyopadhyay *Solving the instance model-view update problem in AADL*, Proceedings of the 25th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS), 2022.
 - [4] Sylvain Guérin. *FML : un langage de fédération de modèles pour l'interopérabilité sémantique de sources d'information hétérogènes*. <https://theses.hal.science/tel-04555528v1>. Thèse de doctorat, ENSTA Bretagne. 2023
 - [5] Jean-Christophe Bach, Antoine Beugnard, Joël Champeau, Fabien Dagnat, Sylvain Guérin, and Salvador Martínez. *10 years of Model Federation with Openflexo : Challenges and Lessons Learned*. In Proceedings of the ACM/IEEE 27th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS '24). <https://doi.org/10.1145/3640310.3674084>
 - [6] Ankica Barišić, Ivan Ruchkin, Dušan Savić, Mustafa Abshir Mohamed, Rima Al-Ali, Letitia W. Li, Hana Mkaouar, Raheleh Eslampanah, Moharram Challenger, Dominique Blouin, Oksana Nikiforova, Antonio Cicchetti *Multi-paradigm modeling for cyber-physical systems : A systematic mapping review*, Journal of Systems and Software (JSS), Volume 183, 2022
 - [7] Moussa Amrani, Dominique Blouin, Robert Heinrich, Arend Rensink, Hans Vangheluwe, Andreas Wortmann *Multi-paradigm modelling for cyber-physical systems : a descriptive framework*, Softw Syst Model (SoSyM), 611–639, 2021
 - [8] Sylvain Guérin, Joel Champeau, Jean-Christophe Bach, Antoine Beugnard, Fabien Dagnat, Salvador Martínez *Multi-level modeling with Openflexo/FML- A contribution to the MULTI process challenge*, EMISA Journal, 2022.
 - [9] HOMOLKA, Marcel, MARCHEZAN, Luciano, ASSUNÇÃO, Wesley KG, et al. *Don't Touch my Model!" Towards Managing Model History and Versions during Metamodel Evolution*. In : Proceedings of the 2024 ACM/IEEE 44th International Conference on Software Engineering : New Ideas and Emerging Results. 2024. p. 77-81.
 - [10] Sylvain Guérin and Salvador Martinez and Ciprian Teodorov *Modeling in the Design Multiverse*. 2025. <https://arxiv.org/abs/2509.06530>