

# Rapport d'avancement de thèse

- **Doctorant** : Julien VAUBOURG (depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2013)
- **Titre actuel de la thèse** : *Co-simulation de modèles de réseaux IP dans le contexte des systèmes cyber-physiques, en utilisant une plateforme basée sur DEVS*
- **Encadrants** : Vincent CHEVRIER, Laurent CIARLETTA

## 1 Systèmes cyber-physiques (contexte)

Un système est dit cyber-physique (*cyber-physical systems*, CPS) dès lors qu'il met en oeuvre des systèmes physiques qui sont contrôlés, supervisés, coordonnés et intégrés par des systèmes informatiques. Une boucle d'interactions permet en général aux systèmes physiques d'envoyer des retours d'information aux systèmes informatiques, qui les prennent en considération pour adapter leur comportement, et vice-versa.

Les CPS sont généralement composés de capteurs et d'effecteurs reliés à des systèmes physiques, et de systèmes informatiques décisionnels. Ces différents éléments communiquent entre eux par le biais de réseaux de communication, désormais quasiment toujours basés sur le très populaire protocole IP. Ces réseaux ont un rôle central dans les CPS.

Les réseaux électriques intelligents (*smart grids*, SG) sont des exemples de CPS et correspondent au cas d'étude privilégié de ma thèse. Simuler les CPS permet de tester de nouveaux algorithmes et modes opérationnels. Ma thèse s'inscrit dans cette problématique, dans le cadre d'un contrat entre Inria et EDF R&D et du projet MS4SG (*Multi-Simulation for SmartGrids*).

## 2 Simulation de systèmes cyber-physiques

Un CPS regroupe généralement trois catégories de domaines d'expertise : phénomènes physiques, réseaux de communication et systèmes d'information. Des modèles provenant de ces différents domaines sont nécessaires pour simuler un CPS complet. Cette contrainte nous conduit à deux principaux objectifs :

1. **La réutilisabilité** : De nombreux modèles, prouvés ou éprouvés par des experts, existent déjà dans chacun des trois domaines d'expertise. Les réécrire tous nécessiterait beaucoup de compétences et de moyens.
2. **La co-simulation** : Pour simuler un CPS complet, il faut connecter tous ces modèles (créer un multi-modèle) entre eux et les exécuter ensemble dans une même simulation (exécuter une co-simulation).

Ceci nécessite de considérer l'hétérogénéité d'un multi-modèle, ce qui nous conduit à deux principaux défis :

1. **Hétérogénéité au niveau des modèles** : intégrer différents formalismes (principalement équationnels, à événements discrets ou à base d'automates) et différentes représentations (échelles de temps, données échangées, etc).
2. **Hétérogénéité au niveau des logiciels** : assurer l'interopérabilité des simulateurs (langages, plateformes, instrumentation depuis l'extérieur, etc) pour réutiliser les implémentations existantes des modèles.

Le projet de recherche MECSYCO<sup>1</sup>, développé par les équipes Madynes et (anciennement) MAIA, est une plateforme de co-simulation qui offre des réponses pour ces deux principaux objectifs. En utilisant un paradigme multi-agent et le formalisme DEVS, elle permet de produire un logiciel de co-simulation exécutable à partir d'un schéma intuitif. J'ai travaillé sur l'évolution de la plateforme et son utilisation pour la simulation de CPS durant ma thèse, avec un intérêt particulier pour la partie réseaux de communication (réseaux IP).

## 3 Contributions

Mon travail de thèse a porté sur l'intégration de modèles IP dans des co-simulations. J'ai proposé une définition du couplage formel de ceux-ci dans DEVS, en distinguant notamment deux principaux types de couplage :

---

1. MECSYCO : *Multi-Agent Environment for Complex SYstems CO-Simulation*

1. **Structurel** : interconnexion de deux modèles partageant un même état, permettant de représenter la dynamique du système simultanément au travers des deux modèles (couplage d'un modèle de compteur électrique intelligent au modèle représentant le réseau IP, par exemple).
2. **Spatial** : interconnexion de deux modèles, qui échangent des événements comme les systèmes correspondant échangeraient des données (couplage de deux modèles IP qui représentent chacun une partie de la topologie globale, éventuellement implémentés pour des simulateurs incompatibles entre eux, par exemple).

À partir de ce travail, j'ai proposé une méthode d'intégration de simulateurs IP dans la plateforme MECSYCO. J'ai notamment illustré mes travaux en assurant l'intégration des simulateurs NS-3 et OMNeT++, deux des solutions les plus populaires dans le monde scientifique. J'ai également été amené à contribuer directement au projet MECSYCO, en proposant des extensions et en le réécrivant entièrement en C++.

Ces travaux ont été testés dans un cadre industriel, au travers de deux cas d'utilisation concrets, commandés par notre partenaire EDF R&D. J'ai activement participé à la conception de la modélisation de ces cas d'étude, en participant à l'intégration des modèles existants, en écrivant les modèles de réseau IP (intégrés grâce à mes concepts), et en produisant les livrables industriels associés.

J'ai été co-auteur cette année de deux nouvelles publications dans des conférences internationales avec actes [1][2], que j'ai été présenter à Pasadena (USA, CA). Ces publications portent sur mes méthodes de couplage des modèles IP avec DEVS, et des interactions entre modèles discrets (e.g. IP) et continus (e.g. électriques). Elles complètent les publications précédentes [3][4][6] auxquelles j'ai participé, qui portaient sur la simulation de réseaux électriques intelligents complets.

## 4 Rédaction de thèse

La rédaction de mon document de thèse est en cours. L'objectif en terme de date de soutenance est fixé à la fin de l'année 2016. J'ai postulé pour un poste d'ATER, pour continuer d'être financé au-delà de mon contrat doctoral, qui se termine fin septembre. J'ai obtenu l'un des postes proposés par la FST.

## 5 Publications

### Conférences internationales avec actes :

[1] CO-SIMULATION OF IP NETWORK MODELS IN THE CYBER-PHYSICAL SYSTEMS CONTEXT, USING A DEVS-BASED PLATFORM

*J. Vaubourg, V. Chevrier, L. Ciarletta, and B. Camus*

CNS'16 (paper) - Communications and Networking Symposium

[2] HYBRID CO-SIMULATION OF FMUs USING DEV&DESS IN MECSYCO

*B. Camus, V. Galtier, M. Caujolle, V. Chevrier, J. Vaubourg, L. Ciarletta, and C. Bourjot*

TMS'16 (paper) - Symposium on Theory of Modeling and Simulation

[3] MULTI-AGENT MULTI-MODEL SIMULATION OF SMART GRIDS IN THE MS4SG PROJECT

*J. Vaubourg, Y. Presse, B. Camus, C. Bourjot, L. Ciarletta, V. Chevrier, J.-P. Tavella, and H. Morais*

PAAMS'15 (paper) - Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems

[4] SMART GRIDS SIMULATION WITH MECSYCO

*J. Vaubourg, Y. Presse, B. Camus, C. Bourjot, L. Ciarletta, V. Chevrier, J.-P. Tavella, H. Morais, B. Deneuille and O. Chilard*

PAAMS'15 (demo) - Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems

[5] WHEN SHARING COMPUTER SCIENCE WITH EVERYONE ALSO HELPS AVOIDING DIGITAL PREJUDICES

*M. Duflot, M. Quinson, F. Maseglia, D. Roy, J. Vaubourg, and T. Viéville*

Scratch2015AMS (paper) - 7th international Scratch conference (Amsterdam)

### Conférences nationales avec actes :

[6] SIMULATION DE SMART GRIDS AVEC MECSYCO

*J. Vaubourg, Y. Presse, B. Camus, C. Bourjot, L. Ciarletta, V. Chevrier, J.-P. Tavella, H. Morais, B. Deneuille and O. Chilard*

JFSMA'15 (demo) - Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents

### Rapports techniques et scientifiques :

[7] INTÉGRATION DE SIMULATEURS EXISTANTS À UNE PLATEFORME DE CO-SIMULATION BASÉE SUR DEVS

*J. Vaubourg, V. Chevrier, and L. Ciarletta*

HAL (technical report)

[8] CONCEPT GRID : RÉSEAU DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

*J. Vaubourg, L. Ciarletta, V. Chevrier, Y. Presse, and B. Ségault*

Non-public (industrial deliverable)

Contribution également à **2 dépôts APP** (cœur et visualisation en Java de MECYSCO).