

Rapport d'avancement de thèse

1^{er} juin 2014

- **Doctorant** : Julien VAUBOURG (depuis le 1^{er} octobre 2013)
- **Titre initial** : *Multi-modélisation, multi-simulation dans le cadre des SmartGrids*
- **Encadrants** : Vincent CHEVRIER, Laurent CIARLETTA

1 Contexte

Les SmartGrids sont des réseaux électriques intelligents, désignés comme les successeurs des grilles d'énergie nationales actuelles, pour lesquels les objectifs sont de prendre en considération :

1. **les réglementations écologiques** (les sources intermittentes et délocalisées nécessitent de disposer d'une grille énergétique avec des sources décentralisées) ;
2. **les pics de consommation** (adapter la consommation à la production plutôt que l'inverse nécessite une remontée d'informations des équipements finaux et donc une grille intelligente capable de communiquer dans les deux sens) ;
3. **les échanges européens** (les grilles ont besoin d'être conçues pour s'interconnecter entre elles, et suffisamment maîtrisées pour se prémunir des *blackouts* internationaux) ;
4. **autres** (une grille souple pour la prise en considération du boom des voitures électriques, standard pour l'ouverture des marchés à la concurrence, moderne pour les opérations à distance sur les compteurs sans rendez-vous, etc).

Le déploiement de ces nouvelles grilles impose d'être capable de les simuler pour étudier préalablement leur comportement à l'échelle nationale et internationale. En France, EDF R&D travaille sur ce sujet aux côtés d'autres acteurs de la recherche et de l'industrie. Ma thèse s'inscrit dans cette problématique, dans le cadre d'un contrat entre Inria et EDF R&D pour un projet intitulé MS4SG.

2 Problématiques et travail réalisé

2.1 État de l'art

Afin de mieux comprendre le contexte et avoir conscience des problématiques sous-jacentes, j'ai travaillé sur un état de l'art des travaux effectués sur les SmartGrids, avec une étude des différents projets expérimentaux qui ont eu lieu en France. La modélisation et la simulation d'une SmartGrid implique de rassembler trois principaux domaines : des équipements électriques, des réseaux numériques et un système décisionnel de régulation.

Une SmartGrid est donc une composition d'un grand nombre d'entités hétérogènes avec des interactions locales, de multiple niveaux de structure et d'organisation, qui forme un tout dur à prédire et dur à décrire. Pour cette raison, nous classons les SmartGrids dans les systèmes complexes [1]. En outre, la simulation d'une SmartGrid implique de faire collaborer plusieurs expertises, de réutiliser des modèles déjà existants, et de coupler des formalismes et des échelles de temps différents ensemble. Plusieurs simulateurs avec des modèles hétérogènes doivent donc communiquer entre eux pour réaliser la simulation, dans le cadre d'une multi-simulation.

La simulation des réseaux numériques des SmartGrids nécessite de disposer de modèles pour beaucoup de technologies (physiques ou protocolaires) différentes qui pourront être intégrés dans la multi-simulation. L'abondance des papiers de recherche et des implémentations pour les différents protocoles nécessite de les étudier pour les trier et les classer avec une étude suffisante pour en comprendre le formalisme et les possibilités d'intégration au méta-modèle. L'écriture d'un livrable d'une vingtaine de pages pour EDF R&D a été l'occasion de faire un état de l'art sur les modèles et les simulateurs existants. J'ai notamment été amené à contribuer au code¹ de l'un des modèles issu d'une publication [2] pour le mettre

1. <https://github.com/ns3-plc-module/plc/pull/5>

à jour. J'ai également eu l'occasion de participer à une formation Modelica (langage de modélisation), pour apprendre à créer des modèles issus de la norme FMI (populaire dans l'industrie) et basés sur des équations différentielles.

La bibliographie a été complétée au fur et à mesure de mes recherches sur les différentes possibilités en terme de modélisation, simulation et multi-simulation (en particulier orientées SmartGrids) et les problématiques sous-jacentes (notamment la gestion du temps avec e.g. des changements d'état continus pour les modèles électriques et de l'événementiel pour les modèles de réseaux numériques).

2.2 La plateforme AA4MM

Notre solution pour répondre aux besoins décrits en amont s'appelle AA4MM [3]. Il s'agit d'un méta-modèle pour la multi-simulation qui s'appuie sur un paradigme multi-agents orienté interactions. Il respecte le formalisme de DEVS [4] (permettant notamment de coupler des formalismes différents), et dispose donc d'algorithmes prouvés (e.g. respect de la contrainte de causalité et absence de *deadlocks*). L'une de ses spécificités est également de proposer une exécution entièrement décentralisée, permettant de passer aisément à l'échelle.

Mes premiers travaux ont consisté à faire évoluer la plateforme, notamment en écrivant de nouvelles simulations et en perfectionnant le code du prototype, tout en travaillant en collaboration avec un autre doctorant pour en améliorer le formalisme. La compréhension et l'intégration de technologies métiers utilisées par EDF R&D comme FMI et HLA (solution de multi-simulation normalisée) ont également fait partie de mes premières missions, en collaboration avec un ingénieur. L'intégration du *middleware* de communication DDS (norme OMG) a permis de décentraliser les exemples, de façon transparente. J'ai présenté ces prototypes lors d'une rencontre de plusieurs organismes de recherche à l'institut EIFER (*European Institute For Energy Research*), et lors de la journée nationale des utilisateurs de logiciels dédiés à la modélisation et au calcul scientifique (LMCS).

Afin de pouvoir utiliser plus de modèles, de prouver les capacités de gestion de l'hétérogénéité de la plateforme et prévoir de livrer une version plus performante dans le cadre du projet MS4SG, j'ai entièrement redéveloppé la plateforme en C++.

3 Poursuite du travail

Cette première partie de ma première année m'a permis de me situer dans les différentes problématiques à traiter. La reformulation de mon sujet serait donc actuellement la suivante : « *Comment coupler des modèles de réseaux numériques existants entre eux et avec les autres entités d'une multi-simulation, au niveau méta-modèle ?* ». Les besoins métiers de EDF R&D impliquant de trouver des solutions pour concevoir simplement ces multi-simulations, un objectif sous-jacent qui n'a pas encore été traité devrait être : « *Comment générer (semi-)automatiquement des connecteurs de modèle pour les intégrer dans une multi-simulation orientée SmartGrid ?* ».

La suite de mon travail consistera donc à suffisamment spécifier les contraintes nécessaires pour intégrer un modèle à une multi-simulation de réseaux numériques basée sur AA4MM, et étudier les différents scénarios possibles pour les coupler de telle sorte qu'un lien réseau numérique complet regroupant plusieurs couches protocolaires différentes puisse être simplement simulé. Dans un second temps, je m'intéresserai à la génération de code pour les connecteurs des modèles.

Références

- [1] P. Bourguin et al., "French roadmap for complex systems 2008-2009," *ArXiv e-prints*, vol. 0907, p. 2221, Jul. 2009. [Online]. Available : <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009arXiv0907.2221B>
- [2] F. Aalamifar, A. Schloegl, D. Harris, and L. Lampe, *Modelling Power Line Communication Using Network Simulator-3*, Dec. 2013.
- [3] J. Siebert, "Approche multi-agent pour la multi-modélisation et le couplage de simulations. application à l'étude des influences entre le fonctionnement des réseaux ambiants et le comportement de leurs utilisateurs." Ph.D. dissertation, Université Henri Poincaré - Nancy I, Sep. 2011. [Online]. Available : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00642034>
- [4] B. P. Zeigler, T. G. Kim, and H. Praehofer, *Theory of Modeling and Simulation*, 2nd ed. Orlando, FL, USA : Academic Press, Inc., 2000.