



HAL
open science

Optimisation de Smart Grid: d'un modèle intégratif vers une simulation multi-agents autonome

Coralie Petermann, Soufian Ben Amor, Alain Bui, Marc Bui

► To cite this version:

Coralie Petermann, Soufian Ben Amor, Alain Bui, Marc Bui. Optimisation de Smart Grid: d'un modèle intégratif vers une simulation multi-agents autonome. Modélisation Agents pour les Systèmes Complexes, Jul 2013, Lille, France. pp.8. hal-00840727

HAL Id: hal-00840727

<https://hal.science/hal-00840727>

Submitted on 2 Jul 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Optimisation de Smart Grid: d'un modèle intégratif vers une simulation multi-agents autonome

Coralie Petermann^a
coralie.petermann@uvsq.fr

Soufian Ben Amor^a
soufian.ben-amor@uvsq.fr

Alain Bui^a
alain.bui@uvsq.fr

Marc Bui^b
marc.bui@ephe.sorbonne.fr

^aLaboratoire Parallélisme, réseaux, systèmes et modélisation.
Université de Versailles Saint-Quentin-En-Yvelines, France.

^bLaboratoire CHArt,
Ecole Pratique des Hautes Etudes - Paris, France

Résumé

L'optimisation multi-critères des réseaux électriques devient un enjeu mondial face aux problèmes de pollution, de partage équitable, et de gestion automatique pour ne citer qu'eux. Dans le cadre du projet interdisciplinaire EPIT 2.0, nous proposons une modélisation multi-agents intégrative de Smart Grid pour répondre aux besoins de simulation, d'analyse et d'optimisation de tels systèmes.

Mots-clés : Modélisation, simulation, multi-agents, smart grid

Abstract

Multi-criteria optimization of electrical networks is a global challenge facing the problems of pollution, fair sharing, and automated management to quote only these problems. As part of interdisciplinary project EPIT 2.0, we propose an integrative multi-agent modeling of Smart Grid to meet the need for simulation, analysis and optimization of such systems.

Keywords: Example, model, template

1 Introduction

Quotidiennement, les appareils électriques se multiplient et les nouveaux besoins en énergie qu'ils génèrent font augmenter rapidement la demande globale en électricité. D'ici 2030, la consommation mondiale d'électricité devrait augmenter de 76% par rapport à celle de 2007. Divers scénarios prédisent également un manque de pétrole d'ici environ 20 ans. Ce déficit devra être compensé par l'augmentation de la ressource électrique. Or, la grille actuelle va devenir obsolète : il sera difficile de greffer de nouveaux équipements face à de nouvelles demandes sur un réseau qui n'a pas été pensé pour cet usage. Le Smart Grid représente ainsi une évolution obligatoire de la grille actuelle.

Dans le cadre du projet interdisciplinaire Energy Positive IT 2.0 (EPIT2.0), nous développons une modélisation innovante en vue de concevoir et optimiser un Smart Grid.

2 Le Smart Grid est un système complexe

Un système complexe est un système composé d'un grand nombre d'entités en interactions locales et simultanées dont le comportement global ne peut être déduit de celui de ses composants [5].

Le Smart Grid peut être défini comme la vision du réseau électrique du futur, où les flux bidirectionnels d'informations et d'électricité permettent un ajustement en temps réel à la demande, de façon à intégrer de manière optimale les énergies renouvelables. C'est un exemple typique de phénomène complexe étant donné l'hétérogénéité des acteurs, l'aspect matériel (technologies de l'information et de production d'électricité), les enjeux économiques divergeants et également par la combinaison des systèmes humains et artificiels, qui, à elle-seule, représente un facteur de complexité important.

Le défi le plus important du Smart Grid, consiste à partager au mieux la ressource énergétique tout en permettant une meilleure adéquation consommation/production. Des dynamiques complexes telles que l'évolution de la structure du réseau, la tarification de l'énergie, les pertes énergétiques, ou les productions variables des énergies renouvelables sont également à prendre en compte.

3 Modélisation intégrative de Smart Grid

Pour analyser et optimiser le concept de Smart Grid, nous proposons une modélisation intégrative et autonome, *ie.* un modèle auto-adaptable dynamique dont chaque composante permet de prendre en compte un aspect du Smart Grid et c'est leur intrication qui réalise une modélisation efficace du système sociotechnique étudié [8].

Les différents consommateurs sont en perpétuelle concurrence autour de l'énergie. Des négociations sont nécessaires pour partager la ressource commune. Ces mécanismes sont proches de la théorie des jeux, qui met en relation des joueurs ayant chacun une stratégie afin de gagner un jeu. Chaque entité du réseau aspire à maximiser sa satisfaction en énergie.

3.1 Partage de l'énergie par la théorie des jeux

Les Smart Grids font intervenir des acteurs hétérogènes avec des intérêts divergeants qui se comportent de manière concurrentielle pour se partager une ressource commune : l'état, les consommateurs, et les entreprises pour ne citer que les principaux. Ceci se rapproche fortement des aspects de la théorie des jeux [6, 7] : il s'agit bien d'un problème stratégique dans lequel les actions de chaque acteur va influencer les autres acteurs.

D'un point de vue global, le partage total de l'énergie peut être vu comme un problème de sac-à-dos. Cependant, la méthode classique ne suffit pas à définir le partage de l'énergie du Smart Grid. En effet, le Smart Grid est dynamique dans le temps, et chaque flux d'énergie est conditionné de façon temporelle et physique ; *ie* il a une date de début, de fin, et il utilise un certain nombre d'arêtes définies sur le réseau de distribution.

Nous proposons une définition pour le partage de l'énergie globale du Smart Grid par un sac-à-dos multi-objectifs, auquel nous rajoutons une variable temporelle. Pour décrire le remplissage du sac-à-dos, il faut indiquer pour chaque élément s'il est pris ou non. On peut utiliser un codage binaire : l'état du *i*-ème élément vaudra $x_i = 1$ si l'élément est mis dans le sac, ou $x_i = 0$ sinon. Une façon de remplir le sac est donc complètement décrite par un vecteur, appelé vecteur contenu, ou simplement contenu :

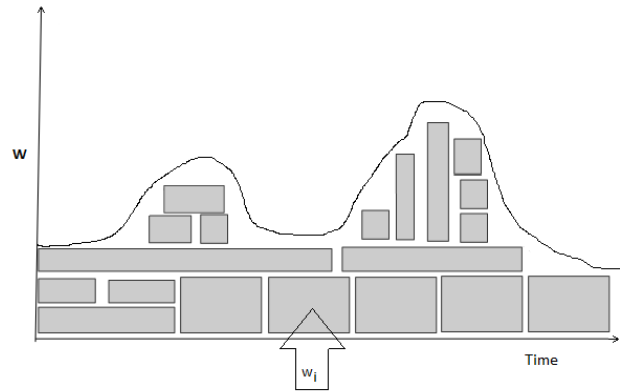


FIGURE 1 – Sac à dos multi-objectifs temporalisé.

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; et le poids, ainsi que la valeur, associés à ce remplissage, peuvent alors être exprimés comme fonction du vecteur contenu. Pour une liste de flux X donnée, la valeur totale contenue dans le sac est naturellement : $z(X) = \sum_{i, x_i=1} p_i = \sum_{i=1}^n x_i p_i$

Définition 1 Les flux électriques sont numérotés par l'indice i variant de 1 à n . Soient w_i et p_i respectivement le poids et la valeur du flux numéro i , et W la capacité du sac. Les arêtes du système sont numérotées par l'indice k variant de 1 à m . Le problème peut être formulé comme la recherche d'un vecteur contenu (les composantes valant 0 ou 1), maximisant le résultat de la fonction valeur totale, en tout T du système tel que $t_{i_{debut}} \leq T \leq t_{i_{fin}}$, sous les contraintes suivantes, :

- contrainte de production totale du système : $p(X) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i w_i}{t_i} \leq W$ soit $\sum_{k=1}^m p_k(X) \leq W$
- contrainte liée à la limitation de chaque arête du système : $\sum_{i=1, k=1}^{n, m} \frac{x_i w_i}{t_i} \leq W_k$ soit $p_k(X) \leq W_k$

Cependant, cette définition permet de décrire le fonctionnement global du Smart Grid, mais ne peut pas être utilisée seule pour simuler le système. Nous proposons donc des algorithmes locaux basés sur cette définition pour le partage de l'énergie disponible à chaque niveau du Smart Grid [1]. Néanmoins, d'autres contraintes sont à prendre en compte. La structure du réseau influe sur les relations entre entités. Le caractère intermittent de certaines sources d'électricité induit une dynamique complexe de la connectivité des sources et du flux d'énergie. Les problèmes de pertes énergétiques et de congestion ne sont pas

directement modélisables par les seuls critères quantitatifs fixés. Nous sommes contraints de modéliser des critères qualitatifs associés à des dynamiques complexes par une théorie adaptée.

3.2 Relations entre entités du système et prétopologie

La Prétopologie est une théorie mathématique permettant de modéliser le concept de proximité [3]. Or, dans le cadre de l'intégration des énergies renouvelables, il est nécessaire d'exprimer les notions de voisinage de manière réaliste et multidimensionnelle. Si on prend l'exemple des éoliennes, on ne parle pas de proximité métrique, mais de proximité fonctionnelle : la météo influence le rendement électrique produit, ainsi l'éolienne la plus proche d'un point de vue distance n'est pas forcément celle qui pourra nous fournir l'énergie demandée !

Cependant, à ce stade, nous ne pouvons pas garantir le fonctionnement au niveau global. Les propriétés émergentes du réseau ne sont pas prévisibles d'un point de vue local et nécessitent donc une surveillance globale. Ceci est particulièrement valable dans le cadre de la détection et de la prévention des pannes. Nous proposons une approche hybride centralisée et distribuée via un superviseur global du Smart Grid pour détecter les seuils critiques pouvant mener à des baisses de tension locales, et ainsi assurer la prévention des pannes.

3.3 Surveillance du Smart Grid et percolation

La percolation est une théorie mathématique utilisée dans le cadre de diffusions déterministes sur une structure aléatoire [4, 2]. Concrètement, le modèle mathématique repose sur un réseau de noeuds et les connexions entre chaque couple de voisins peuvent être ouvertes avec une probabilité p , ou fermées avec une probabilité $(1 - p)$, et nous supposons qu'elles sont indépendantes.

Les réseaux électriques fournissent un exemple intéressant de phénomène de percolation : on considère n consommateurs, chaque consommateur est relié à ses voisins par des liens d'efficacité p aléatoires. La structure du réseau de distribution électrique est donc totalement aléatoire. Il existe une proportion $(1 - p)$ de liens qui peuvent être détruits de manière aléatoire, ce qui n'entrave pas de coupure de courant visible pour les consommateurs : le transport du courant est

assuré puisqu'il y a la possibilité de passer par des entités relais si p est supérieure à une valeur critique p_c appelée seuil de percolation. En dessous de la valeur critique p_c , la probabilité que deux entités puissent communiquer de façon directe ou indirecte est très faible. Cette théorie permet également d'expliquer les phénomènes de transition de phase lors de pics de consommation précédés par des besoins presque nuls.

4 Du modèle vers la simulation

En choisissant des théories adaptées à chaque micro système complexe du Smart Grid, nous avons pu construire une modélisation fiable et efficace prenant en compte la complexité du système dans sa globalité [9]. Cependant, le développement d'un modèle informatique pour l'analyse et l'optimisation *in silico* du système n'est pas direct à partir du modèle théorique. Nous avons choisi de développer une simulation multi-agents car il s'agit d'une des approches les plus évidentes dans le cadre de la modélisation de systèmes complexes. En effet, la modélisation de tels systèmes est plus réaliste à l'aide d'agents intelligents interagissant ensemble car chaque agent peut être un modèle mathématique propre [10]. De plus, les modélisations multi-agents sont très efficaces, et avec un très bon potentiel de par la parallélisation des tâches pour des applications en temps réel.

Nous avons d'abord dressé le diagramme des cas d'utilisation afin d'obtenir une décomposition logique du système.

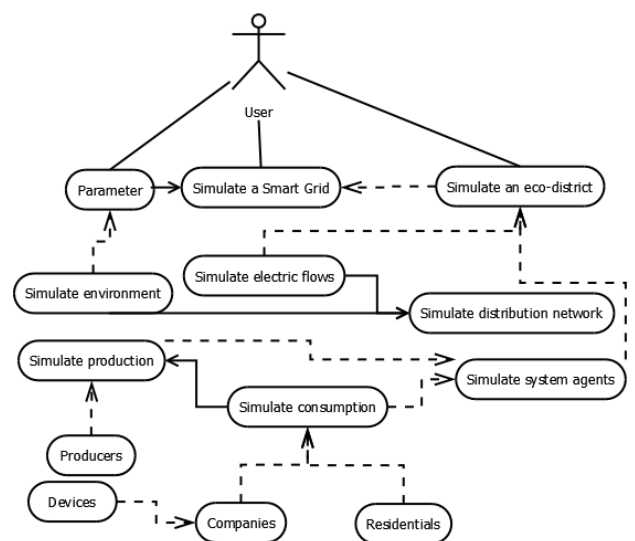


FIGURE 2 – Diagramme des cas d'utilisation.

Puis, nous avons réalisé le diagramme d'ontolo-

gies. En effet, pour prendre en compte l'hétérogénéité des acteurs du Smart Grid, nous avons choisi d'intégrer plusieurs types d'agents dans notre simulation. Chaque agent est capable de communiquer à ses voisins prétopologiquement les plus proches, ainsi, chaque acteur du système n'a qu'une connaissance locale du Smart Grid.

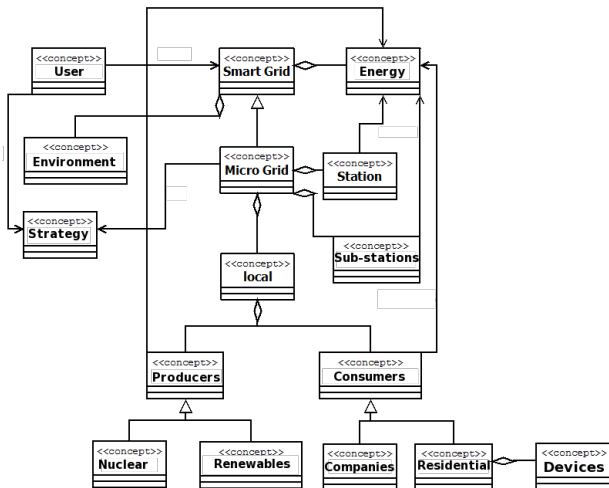


FIGURE 3 – Diagramme d'ontologies.

Les agents de notre modèle sont des entités dynamiques capables de produire, consommer ou transférer de l'énergie. Ainsi, chaque agent dépend d'un modèle mathématique propre.

Pour modéliser la création et la consommation d'électricité, nous avons récupéré des données issues du réseau de transport français (RTE). Un des paramètres de la simulation permet l'ajustement de la granularité ainsi une étape peut représenter un intervalle allant de 5 minutes jusqu'à une journée complète. Ceci permet de mettre en avant certains phénomènes complexes visibles uniquement sur certaines périodes temporelles.

5 Conclusions et perspectives

En conclusion, la simulation de notre modèle théorique de Smart Grid est opérationnelle en version beta.

L'inclusion d'algorithmes de recherche opérationnelle classique dans une modélisation d'un système complexe ouvre de nouvelles perspectives.

Les travaux futurs consistent à développer et paramétrer l'usage de la percolation en tant que superviseur global, et calibrer nos paramètres avec des données industrielles.

Références

- [1] Murat Ahat, Alain Bui, Marc Bui, Soufian Ben Amor, Guillaume Guérard, and Coralie Petermann. Smart grid and optimization. *American Journal of Operations Research*, 3(1A) :196–206, janvier 2013.
- [2] Soufian Ben Amor. *Percolation, prétopologie et multialéatoires, contributions à la modélisation des systèmes complexes : exemple du contrôle aérien*. PhD thesis, 2008.
- [3] ZT. Belmandt. *Basics of pretopology*. Hermann, 2011.
- [4] G. Grimmet. *Percolation*. Springer-Verlag, 1999.
- [5] J. L. Le Moigne. *La modélisation des systèmes complexes*. Dunod, 1990.
- [6] John von Neumann Oskar Morgenstern. *The Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, 1953.
- [7] Guillermo Owen. *Game Theory*. 2nd ed. New York Academic, 1982.
- [8] Coralie Petermann, Soufian Ben Amor, and Alain Bui. Approches théoriques pour la modélisation efficace de smart grids. In *Recherche Opérationnelle et Aide à la DEcision Française (ROADEF'12)*, pages 460–461, Anger, France, 2012.
- [9] Coralie Petermann, Soufian Ben Amor, and Alain Bui. A complex system approach for a reliable smart grid modeling. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*(Volume 243) :149–158, 2012.
- [10] M. Pipattanasomporn, H. Feroze, and S. Rahman. Multi-agent systems in a distributed smart grid : Design and implementation. In IEEE/PES, editor, *Power Systems Conference and Exposition (PS-CE'09)*, pages p 1–8, 2009.