

Modélisation Multi-Agent pour les Réseaux Énergétiques Insulaires

I. TALEB^a
ihab.taleb@devinci.fr

G. GUERARD^a
guillaume.guerard@devinci.fr

F. FAUBERTEAU^a
frederic.fauberteau@devinci.fr

N. NGUYEN^a
nga.nguyen@devinci.fr

^aLéonard de Vinci Pôle Universitaire, Research Center, 92 916 Paris La Défense, France

Résumé

Les Smart Grids sont devenus, depuis deux décennies, un enjeu majeur et un grand défi scientifique et technique, car ils peuvent aboutir à minimiser le réchauffement climatique grâce à une gestion intelligente des différents acteurs du réseau électrique. Les Smart Grids sont encore problématiques pour les milieux isolés et/ou insulaires, car leurs capacités de production sont limitées et avec une structure peu flexible. Nous proposons un modèle multi-agent pour les Smart Grids qui est une agrégation d'un élément de base appelé holon, inspiré du concept de poupées russes. Les holons sont composés d'un même groupe d'agents compétitifs qui tiennent compte des spécificités de chaque acteur du système électrique. Ces holons sont supervisés par des holons supérieurs, suivant l'aspect structurel du réseau, qui leur attribuent des récompenses ou des sanctions afin d'apporter la flexibilité manquante.

Mots-clés : Smart Grid, Réseau énergétique insulaire, Modèle Multi-Agent

Abstract

Smart grids have become, for two decades, an urgent technical and scientific challenge as they can minimize global warming thanks to smart management techniques for the different grid actors. However, smart grids are still problematic for islands as they have limited generation resources and do not provide enough flexibility. Indeed, we propose a multi-agent model for smart grids that is merely an aggregation of a basic element called Cell, like the concept of the Matryoshka Dolls. These cells are composed of the same group of competitive agents that take into consideration the characteristics of each actor in the system. These cells are supervised by superior cells, which attribute rewards or penalties to ensure the required flexibility.

Keywords: Smart Grid, Island electric grid, Multi-agent modelling

1 Introduction

Le réseau électrique se transforme depuis une vingtaine d'années. Il incorpore de plus en plus d'intelligence à tout niveau de son système. Le réseau a commencé à muter dans les années 1980, mais c'est au milieu des années 2000 qu'un nouveau concept est né : le Smart Grid (SG).

Depuis l'émergence du SG, des nouvelles technologies de l'information et de la communication, déjà annoncées par Massoud Amin en 2005 [1], modifient en permanence le réseau électrique monolithique et unidirectionnel des années 1960. Que ce soit la numérisation du pilotage des lignes électriques en bidirectionnel [7, 14], l'intégration de technologies blockchain sur le marché de l'énergie et sur les échanges pairs à pairs d'auto-producteur [2, 12] ou même les jumeaux numériques de villes pour la gestion de la consommation [5], la transformation du réseau électrique s'opère à tous les niveaux.

Les nouvelles technologies du SG ne sont pas adaptées à certaines problématiques telles que les îlots de consommation. Ce sont des auto-producteurs reliés à une unique ligne électrique, ou des zones peu peuplées ou dont les besoins énergétiques dépendent presque uniquement du facteur humain tel que la consommation domestique. C'est pourquoi nous proposons d'étudier, dans le contexte du projet H2020 MAESHA, ces réseaux isolés ou insulaires afin de pouvoir mieux les modéliser. Le projet MAESHA est un projet qui a pour but de décarboner la production électrique dans l'île de Mayotte principalement, en transformant les réseaux électriques traditionnels basés sur les centrales thermiques en y intégrant les énergies renouvelables et des capacités de stockage.

Ce modèle sera intégré dans une plate-forme permettant de tester des technologies et de simuler le réseau afin d'en voir son évolution et son acceptation.

Dans un premier temps, nous verrons les tech-

nologies du SG dans la Section 2. Puis nous analyserons ces dernières pour en comprendre les limites en milieux insulaires en Section 3. La Section 4 conclura sur notre proposition de modèle.

2 Le Smart Grid

L'ensemble des informations de cette section sont une synthèse de revues de littérature de références sur les SGs datant de 2011, 2016 et 2020 [3, 4, 10], montrant les évolutions scientifiques et technologiques au cours de la dernière décennie.

Le SG est une évolution du réseau électrique et énergétique rompant avec l'ancien réseau sur les points suivants : numérisation, collecte et traitement des informations, distribution bidirectionnelle, génération distribuée (batteries, énergie renouvelable), pilotage automatique, outils de stabilisation du réseau et de flexibilité automatique, gestion de la demande et marché dynamique. Toutes ces transformations ont pour objectif d'améliorer le réseau électrique que ce soit en flexibilité, diminuer l'impact carbone de tous les acteurs en optimisant les divers flux et marchés côtés consommateurs et producteurs. Le SG est souvent décomposé en trois systèmes : le système de protection intelligente (à la fois le *self-healing* et la cybersécurité), l'infrastructure intelligente (numérisation de la structure, nouveaux paradigmes comme les microgrids ou le *Vehicles-to-Grid*, *Power-to-Gas*, etc.) et le système de gestion intelligente qui sert à contrôler et gérer les différents acteurs de l'énergie (marché dynamique, échanges pairs à pairs, gestion de la demande, demande-réponse) [1].

Les modèles de gestion intelligente peuvent être construits sur deux paradigmes : optimisation (modélisation mathématique par optimisation) ou *data-driven*. Ces derniers construisent les modèles mathématiques à l'aide d'apprentissage machine et d'apprentissage profond [13].

Les modèles *Data-Driven* permettent une analyse systémique du réseau électrique. Ils sont construits pour répondre à des cas d'usages multiples. Ces modèles représentent le système dans son entièreté ou uniquement certains de ses sous-systèmes tels que : contrôle préventif, estimation ou prédiction de l'état des modules (comme la consommation), classification et détection d'évènements, calibration et simulation, vérification de l'intégrité, classification et détection de profils (comme des consommateurs ayant des courbes / comportements similaires).

3 Les limites

Cependant, ces modèles sont construits pour des réseaux continentaux et ne prennent pas en compte les particularités de réseaux plus petits ou insulaires. Voici une liste non exhaustive des limites des modèles actuels.

Outils de prédiction à toute granularité –

Les réseaux insulaires étant peu interconnectés et avec de nombreuses ramifications en moyenne et basse tension, une baisse de tension peut rapidement mettre à mal l'ensemble du réseau. Afin d'éviter toute erreur dans le réseau, il est important d'avoir des outils de prédiction de la consommation et de la production à toute granularité d'espace et de temps. Il faut connaître les tendances au niveau local ainsi qu'à grandes échelles, sur un temps proche comme une heure autant que sur une journée [8].

Amélioration des outils de pilotage et détection des erreurs –

La prédiction préventive est essentielle pour éviter qu'un problème ponctuel n'entraîne un effet de cascade dans l'ensemble du réseau

Profilage des consommateurs –

Dans le but de pouvoir faire correspondre l'offre et la demande, il est important de pouvoir classifier les consommateurs et auto-producteurs. Le profilage comprend un aspect social et économique pour chaque cas d'usage des bâtiments. Cela est réalisable en utilisant une classification non supervisée mixte [11].

Amélioration des outils de demande-réponse –

Les outils existants de demande-réponse sont calibrés sur un prix de l'énergie dynamique. Cependant, compte tenu du manque de flexibilité et de résilience d'un réseau insulaire, ces outils doivent aussi prendre en compte un facteur de risque non basé sur la stabilité du réseau et l'impact socio-économique que cela engendrera [6]. En effet, le coût d'une action sur le consommateur et le producteur aura un impact sur le système plus important que dans un réseau continental.

Marché de l'énergie et prix dynamique –

Le prix de l'énergie a tendance à devenir dynamique, donc relatif au marché. Tels les outils de demande-réponse, les aspects de résilience et socio-économique sont là aussi à prendre en compte. Ainsi, le prix dynamique ne devra pas dépendre uniquement du coût de production

mais aussi de l'impact du flux énergétique sur le réseau.

4 Le système proposé

4.1 Architecture

Le système est proposé principalement dans le but d'avoir le maximum de flexibilité possible dans les domaines spatiaux et temporels. En effet, pour bien garantir la flexibilité spatiale, le SG dans tous ces niveaux possibles (régions, quartiers, appartements, etc.) est composé d'une seule structure que nous appelons *holon*. Cette structure est dite holonique [9]. Chacuns de ces holons est composé des cinq agents suivants (Figure 1) :

- **Agent de mesures** : cet agent est responsable de capter, traiter et restituer les valeurs réelles de la consommation et/ou la production de l'électricité, et de les envoyer à l'agent de données.
- **Agent de prédiction** : cet agent doit être capable de donner des prédictions dans des différentes marges temporelles (flexibilité temporelle), pour la consommation et la production, selon le type de holon et ces besoins.
- **Agent de contrôle** : cet agent surveille les holons sous sa responsabilité, donc d'après une hiérarchie basée sur la structure du réseau (consommateur, agrégateur, etc.) pour leur attribuer des récompenses ou des sanctions dans leur stratégie de demande-réponse. Le niveau le plus bas doit gérer les appareils énergétiques afin de proposer des stratégies de demande-réponse.
- **Agent de données** : cet agent est responsable d'enregistrer les données et les connaissances liées aux holons et leurs niveaux relatifs par rapport à ce holon.
- **Agent de communication** : cet agent est responsable de la communication avec les autres holons.

Le système de *holons* est compatible avec tous les types de générateurs, de consommateurs et d'auto-producteurs. Un *holon* peut aussi représenter une entité abstraite tel qu'un agrégateur.

Les *holons* ont également différents rôles. En effet, ils surveillent les holons inférieurs et leur attribuent des récompenses et des sanctions. Ils sont surveillés par les holons les plus supérieurs d'une manière similaire.

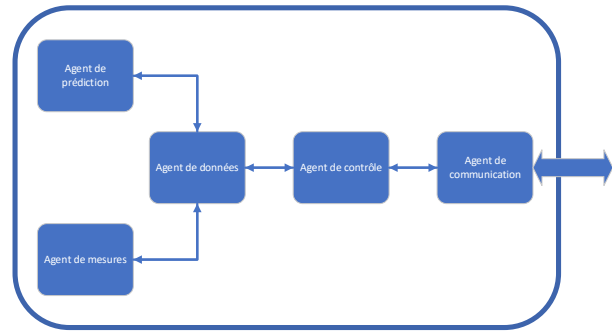


FIGURE 1 – La structure générale des holons.

Étant donné que le réseau sera complètement construit par le même type de holon, les holons dirigeants peuvent facilement détecter et fournir (et si c'est impossible, isoler) les holons qui ont un comportement inhabituel pouvant mettre en péril la stabilité. Par conséquent, nous évitons les black-outs en isolant les holons qui sont les causes du problème. Le deuxième avantage est que tous les utilisateurs peuvent jouer les rôles de consommateur et de producteur, ce qui facilite l'intégration des sources d'énergies distribuées en intégrant les auto-producteurs, les énergies renouvelables et les systèmes de stockage énergétique.

Pour finir, un holon est entièrement paramétrable. Il est donc possible de pré-fabriquer des profils de consommateurs et de producteurs pour les intégrer dans la simulation. La modélisation se voulant sans-contexte, tout utilisateur peut simuler le réseau de son choix.

4.2 Simulation et scénarios

La simulation multi-agent, en considérant l'adaptation nécessaire précisée dans la section précédente, permettra de comprendre et de voir l'émergence, l'auto-organisation et les comportements convergents d'un réseau. Compte-tenu de la particularité des milieux insulaires, la simulation intégrera les scénarios suivants :

- Adaptation aux nouvelles contraintes scientifiques et techniques : les avancées techniques, technologiques et scientifiques ne doivent pas mettre en péril la structure holonique. L'ensemble des agents et des holons doit être robuste et adaptatif face à de nouveaux paradigmes.
- Intégration de particularité propre au milieu insulaire : les conditions climatiques et catastrophes naturelles peuvent mettre le réseau à rude épreuve. La simulation

doit prendre en compte ces éléments externes.

- Résilience et efficacité : le modèle doit être capable de s'adapter à de multiples scénarios afin de garder le système le plus flexible et résilient possible.

5 Conclusion

Dans cet article, nous avons réalisé un état des lieux des besoins et les développements dans le domaine de la simulation multi-agent pour un SG en zone insulaire. Cet article propose la structure d'un système multi-agent holonique dont l'objectif est de garantir la flexibilité et l'adaptabilité du système énergétique. En effet, le système est composé d'un seul composant élémentaire qui peut représenter et diriger tous les types d'utilisateurs (consommateurs, générateurs et auto-producteurs). Ce composant élémentaire est appelé *holon* et est composé de cinq types d'agents représentant les aspects techniques et énergétique, social, et économique. Chaque *holon* est organisé dans une hiérarchie représentant l'aspect structurel du réseau qui est nécessaire pour garantir sa flexibilité et son intégrité.

Remerciements

Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n° 957843.

Références

- [1] S. M. Amin and B. F. Wollenberg. Toward a smart grid : power delivery for the 21st century. *IEEE power and energy magazine*, 3(5) :34–41, 2005.
- [2] M. Andoni, V. Robu, D. Flynn, S. Abram, D. Geach, D. Jenkins, P. McCallum, and A. Peacock. Blockchain technology in the energy sector : A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100 :143–174, 2019.
- [3] G. Dileep. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146 :2589–2625, 2020.
- [4] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang. Smart grid—the new and improved power grid : A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 14(4) :944–980, 2011.
- [5] A. Francisco, N. Mohammadi, and J. E. Taylor. Smart city digital twin-enabled energy management : Toward real-time urban building energy benchmarking. *Journal of Management in Engineering*, 36(2) :04019045, 2020.
- [6] N. Good, K. A. Ellis, and P. Mancarella. Review and classification of barriers and enablers of demand response in the smart grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72 :57–72, 2017.
- [7] G. Guérard, S. B. Amor, and A. Bui. A context-free smart grid model using pretopologic structure. In *2015 International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)*, pages 1–7. IEEE, 2015.
- [8] G. Guerard, H. Pousseur, and I. Taleb. Isolated areas consumption short-term forecasting method. *Energies*, 14(23) :7914, 2021.
- [9] S. Howell, Y. Rezgui, J.-L. Hippolyte, B. Jayan, and H. Li. Towards the next generation of smart grids : Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77 :193–214, 2017.
- [10] Y. Kabalci. A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57 :302–318, 2016.
- [11] L.-N. Levy, J. Bosom, G. Guérard, S. B. Amor, M. Bui, and H. Tran. Application of pretopological hierarchical clustering for buildings portfolio. In *SMARTGREENS*, pages 228–235, 2021.
- [12] Z. Nehai and G. Guérard. Integration of the blockchain in a smart grid model. In *The 14th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI) 2017*, pages 127–134, 2017.
- [13] C. Tu, X. He, Z. Shuai, and F. Jiang. Big data issues in smart grid—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79 :1099–1107, 2017.
- [14] X.-P. Zhang, C. Rehtanz, and B. Pal. *Flexible AC transmission systems : modeling and control*. Springer Science & Business Media, 2012.