Contrôle Hiérarchique Cloud-Edge des Réseaux Electriques

Yara ABDUL SAMAD EL SKAFF[1, 2], Hugo JOUDRIER[2], Yacine GAOUA[2]
[1] Univ. Grenoble Alpes
Grenoble, France
[2] CEA LITEN, INES
Le Bourget du Lac, France
{yara.abdulsamadelskaff,hugo.joudrier,yacine.gaoua}@cea.fr

Mots-clés *: Optimisation bi-niveaux, Réseau électrique, Cloud-Edge, EMS.*

1 Introduction

Le réseau électrique se transforme, devient de plus en plus intelligent avec la mise en place de réseaux de communication entre les appareils qui permettent de les contrôler. L'intégration de l'IoT dans le réseau électrique augmente la quantité d'information échangée et nécessite une augmentation de la capacité de calcul des serveurs pour traiter cette masse de données.

Le contrôle hiérarchique est une solution présente dans la littérature [1], [2]. Ces architectures offrent de multiples avantages tels qu'une meilleure répartition de la charge de calcul, du stockage des données, une meilleure résilience ainsi qu'une amélioration du respect de la confidentialité et de la sécurité des données. Elle permet aussi aux communautés d'énergie locales de participer à la stabilité du réseau électrique par la génération de flexibilité et la prise de décisions locales.

Une méthode d'optimisation décentralisée est essentielle pour le bon fonctionnement de ce système. Plusieurs méthodes sont décrites dans la littérature [1], [3], [4]. Le modèle que l'on propose ici est basé sur la méthode MPC (Model Predictive Control) pour le pilotage de plusieurs communautés (micro-grids) au niveau du réseau de distribution. Ces communautés sont composées de moyens de production (photovoltaïque, éolien), de charges pilotables ou non (résidentielles, commerciales et industrielles), de moyens de stockage, et de stations de recharges de véhicule(s) électrique(s).

2 Modèle de Contrôle Bi-Niveaux

Le modèle de contrôle proposé est un modèle à deux niveaux : Cloud – Edge. Le niveau Cloud est constitué d'un centre de calcul qui permet une coordination globale du système qu'il pilote. Le niveau Edge est constitué de plusieurs serveurs locaux, chacun étant associé à une communauté locale d'énergie. Ce processus de contrôle nécessite la résolution de cinq problèmes d'optimisation (Figure 1) :

1) Génération du profil de puissance optimal (Edge) : Dans cette étape, chaque serveur Edge optimise la stratégie de pilotage pour sa communauté. Le calcul de ce profil optimal de production/consommation est guidé par un ensemble de préférences et de contraintes techniques, économiques ou environnementales, propre à chaque communauté.

2) Génération des marges de flexibilité (Edge) : Dans un deuxième temps, le serveur Edge calcul des profils de flexibilité pour sa communauté. Deux profils sont alors générés, une marge supérieure et une marge inférieure. Plus les marges sont éloignées, plus la communauté est

flexible. Nous avons développé une approche permettant de contrôler le calcul de flexibilité selon plusieurs critères en fonction des besoins de flexibilité, constants ou variables, au cours du temps.

3) Génération du profil optimal agrégé (Cloud) : Le coordinateur agrège les profils (pilotage optimale, marges supérieures et inférieures) de l'ensemble des communautés qu'il coordonne. Il doit être en mesure de proposer un plan de fonctionnement global qui respecte l'ensemble des contraintes du système. Ce plan de fonctionnement peut permettre d'optimiser le coût global de fonctionnement de l'ensemble des communautés en participant à de nouveaux marchés, tel que le marché de services système fréquence par exemple. Ce plan peut aussi prendre en considération des contraintes réseaux, comme les problèmes de congestions.

4) Désagrégation du profil optimal agrégé (Cloud) : Dans cette étape, le plan de fonctionnement global est désagrégé afin d'attribuer à chaque communauté un profil de production/consommation à suivre. La désagrégation est guidée par les préférences et les marges de flexibilités, générées par chacune des communautés lors des étapes 1 et 2. La désagrégation optimale représente un défi majeur et une difficulté importante.

5) Génération du profil de réponse (Edge) : Après réception du profil de production/consommation pour sa communauté d'énergie, au point de raccordement, imposée par le coordinateur, chaque serveur edge optimise le profil de fonctionnement interne de sa communauté permettant de respecter le profil imposé par le cloud.

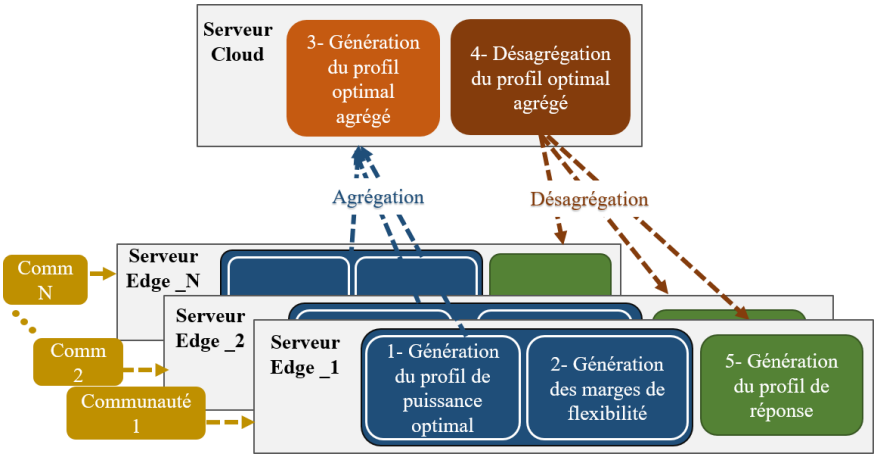

FIG. 1 – Modèle de contrôle Cloud-Edge

3 Références

[1] K. Utkarsh, F. Ding, C. Zhao, H. Padullaparti, et X. Jin, « A Model-Predictive Hierarchical-Control Framework for Aggregating Residential DERs to Provide Grid Regulation Services », in 2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT), Washington, DC, USA: IEEE, févr. 2020, p. 1-5. doi: 10.1109/ISGT45199.2020.9087773.

[2] M. Sarstedt, L. Kluß, M. Dokus, L. Hofmann, et J. Gerster, « Simulation of Hierarchical Multi-Level Grid Control Strategies », in 2020 International Conference on Smart Grids and Energy Systems (SGES), nov. 2020, p. 175-180. doi: 10.1109/SGES51519.2020.00038.

[3] A. Rajaei, S. Fattaheian-Dehkordi, M. Fotuhi-Firuzabad, et M. Moeini-Aghtaie, « Decentralized transactive energy management of multi-microgrid distribution systems based on ADMM », Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 132, p. 107126, nov. 2021, doi: 10.1016/j.ijepes.2021.107126.

[4] Z. Li et M. Shahidehpour, « Privacy-Preserving Collaborative Operation of Networked Microgrids With the Local Utility Grid Based on Enhanced Benders Decomposition », IEEE Trans. Smart Grid, vol. 11, no 3, p. 2638-2651, mai 2020, doi: 10.1109/TSG.2019.2959242.