كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵖⵉⵡⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵙⵏⵉⴳⵉⵜⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵙⵉⴷⵉ ⵎⵓⵃⵎⵎⴰⴷ ⴱⵏ ⵄⴱⴷⵓⵍⵍⴰⵀ
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

N° d'ordre 43 /2019

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

Mr : Zaid BARI

Spécialité : Génie énergétique

Sujet de la thèse : Gestion de l'équilibre énergétique dans les Smart-Grids par des approches intelligentes modélisant la flexibilité des charges

Thèse présentée et soutenue le 17/ 07 / 2019 devant le jury composé de :

Nom Prénom	Titre	Etablissement	
BOUMHIDI Ismail	PES	Faculté des Sciences Dhar el Mahraz, USMBA Fès	Président
ELQADI Abderrahim	PES	Ecole Supérieur de Technologie, Salé UM V, Rabat	Rapporteur
SALHI Mohamed	PH	École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM), Meknès.	Rapporteur
KAMMOURI ALAMI Salaheddine	PES	Faculté des Sciences et Techniques, USMBA Fès	Rapporteur
SAAIDI Abderrahim	PH	Faculté Polydisciplinaire de Taza, USMBA	Examinateur
EL OUGLI Abdelghani	PH	Ecole Nationale des Sciences Appliquées (ENSA) Université Mohamed Premier, Oujda.	Examinateur
Majid BEN YAKHLEF	PES	Faculté Polydisciplinaire de Taza, USMBA	Directeur de thèse

Laboratoire d'accueil : Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur (LSI)

Etablissement : Faculté Polydisciplinaire de Taza

كلية العلوم و التقنيات فاس
ⵜⴰⵖⵉⵡⴰⵏⵜ ⵏ ⵜⵎⴰⵙⵙⴰⵏⵉⵏ ⴷ ⵜⵙⵏⵉⴳⵉⵜⵉⵏ
Faculté des Sciences et Techniques de Fès

جامعة سيدي محمد بن عبد الله
ⵜⴰⵙⴷⴰⵡⵉⵜ ⵙⵉⴷⵉ ⵎⵓⵃⵎⵎⴰⴷ ⴱⵏ ⵄⴱⴷⵓⵍⵍⴰⵀ
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

Centre d'Etudes Doctorales : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Résumé de la thèse :

La durabilité énergétique et la préservation de l'environnement sont devenues des préoccupations mondiales. La demande en énergie électrique augmente, au fur et à mesure que les villes et les pays deviennent plus avancés sur le plan technologique. En plus, les sources de production d'énergie (GD à base des SER, générateur centralisé …) et de consommations dans les réseaux électriques du futur sont multiples, de types différents, répartis géographiquement et disposent de plusieurs formes d'interactions. En effet, l'équilibre offre/demande dans les systèmes électriques moderne qui se concentre sur le SG devient de plus en plus complexe. Le SG représente une vision des futurs réseaux électriques et intègre des méthodologies de contrôle, des technologies de l'information et de la communication dans le système électrique existant. Pour les réseaux électriques classiques, l'offre s'adapte en permanence à la demande. Cette flexibilité de l'offre a parfois un coût financier et environnemental important lorsqu'elle implique de démarrer une centrale thermique pour répondre à un pic de demande. Les SG proposent, en plus de la flexibilité de l'offre à la demande, une flexibilité de la demande à l'offre. Cette dernière contribue significativement à l'équilibre offre/demande dans le système électrique moderne. En effet, les SG visent à ce que l'ensemble des utilisateurs soient impliqués et disposent des outils nécessaires pour gérer au mieux, en fonction de l'état du système électrique, leur production ou leur consommation d'énergie. Par conséquent, la modélisation de cette flexibilité qui caractérise les SG avec des nouvelles approches intelligentes est indispensable pour gérer plus finement l'équilibre énergétique.

Cette problématique a été abordée avec l'approche SMA qui est efficaces pour modéliser, simuler et résoudre des systèmes complexes tels que le SG. En outre, par l'utilisation des techniques issues de l'intelligence artificielle, telle que la logique floue et la théorie des jeux, les agents deviennent intelligents et capables d'apprendre et de s'adapter aux évolutions de leur environnement.

Afin d'aider la génération à maintenir l'équilibre avec la demande, les solutions prévues dans cette thèse ce basent sur la modélisation de la flexibilité des consommateurs à base des approches intelligentes. Cette flexibilité se matérialise par deux principales actions du consommateur :

Coté production : La flexibilité, l'économie et la protection de l'environnement sont les principales caractéristiques des GD à base des SER. Toutefois, en raison de la nature intermittente et aléatoire des sources d'énergie renouvelables, il est difficile de respecter l'équilibre énergétique. En effet, pour surmonter ces défis nous proposons une étude technico-économique ayant pour but de sélectionner les composants adéquats d'un GD à base des SER en fonction de la zone d'installation, de la demande de charge et avec des niveaux de fiabilité bien déterminés.

Coté demande, la flexibilité de la demande se traduit par deux actions du consommateur : La première est la gestion de la demande, elle permet de maintenir l'équilibre énergétique en modifiant la courbe de la charge pour atteindre des objectifs de capacité de production liés à des limitations physiques ou financières. Dans ce contexte, nous proposons une architecture décentralisée de contrôle et de gestion d'énergie basée sur les SMA et la logique flou, capable d'établir une politique de consommation d'énergie tenant compte des services demandés par les utilisateurs, de la disponibilité des sources d'énergie et des contraintes diverses. Tant que, la deuxième est la participation à des programmes de réponse à la demande, cette dernière est caractérisée par sa grande réactivité comparée au contrôle de générateurs imposant des contraintes. Dans ce contexte, nous proposerons un programme de RD à base des incitations, dans le but d'aider le gestionnaire du réseau à maintenir l'équilibre énergétique : compenser l'écart entre la production et la demande en exploitant la flexibilité des consommateurs participant à la gestion de l'équilibre offre/demande par la réduction de leurs demandes en contrepartie d'une récompense. Dans cette approche, nous modélisons la coordination entre les acteurs du marché d'énergie par un SMA adoptant la négociation par la théorie des jeux où un jeu de Stackelberg à deux boucles d'interaction sera proposé pour capturer les interactions entre les différents acteurs allant des gestionnaire de réseau, agrégateurs de charges (fournisseurs de services de RD) et utilisateurs finaux.

Mots-clés :

Systèmes Multi-Agents (MA) ; Smart Grid, Source d'énergie renouvelable (SER) ; Générateur Décentralisé (GD) ; Théorie des jeux ; Equilibre de Stackelberg ; Réponse à la demande (RD) ; Logique floue.