



## Avis de Soutenance

Madame Jin WEI

Présentera ses travaux en soutenance

Soutenance prévue le **jeudi 12 décembre 2019** à 14h00

Lieu : UTBM 12 Rue Thierry Mieg 90000 BELFORT

Salle : E107

Titre des travaux : Modélisation et coordination de micro-réseau interconnectées en utilisant l'intelligence artificielle distribuée

Ecole doctorale : SPIM - Sciences Physiques pour l'Ingénieur et Microtechniques

Section CNU : 27

Unité de recherche : CIAD - Connaissance et Intelligence Artificielle Distribuées

Directeur de thèse : Abderrafiaa KOUKAM

Codirecteur de thèse : Robin ROCHE  HDR  NON HDR

Soutenance :  Publique  A huis clos

Membres du jury :

<u>Nom</u>	<u>Qualité</u>	<u>Etablissement</u>	<u>Rôle</u>
M. Abderrafiaa KOUKAM	Professeur	Université de Technologie de Belfort Montbéliard, Université Bourgogne Franche-Comté	Directeur de thèse
M. Robin ROCHE	Maître de Conférences	Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Université Bourgogne Franche-Comté	Co-directeur de thèse
M. Lhassane IDOUMGHAR	Professeur	Université de Haute-Alsace	Examineur
M. Pierre GOUTON	Professeur	Université de Bourgogne	Examineur
M. Xiaowei TU	Professeur	Université de Shanghai	Examineur
M. Patrice WIRA	Professeur	Université de Haute Alsace Institut de Recherche en Informatique, Mathématiques, Automatique et Signal Institut Universitaire de Technologie de Mulhouse	Rapporteur
M. Cyril FONLUPT	Professeur	LISIC Université du Littoral - Côte d'Opale	Rapporteur

**Mots-clés** : intelligence artificielle, micro-réseaux, gestion de l'énergie, multi-agent system, commande décentralisée,

## Résumé de la thèse (en français) :

À mesure que les sources renouvelables pénètrent dans le système électrique actuel pour atténuer le réchauffement planétaire et la pénurie d'énergie, le concept de microréseau (MG) permet de réduire l'impact de la production intermittente sur le réseau de services publics. Il permet d'améliorer l'automatisation et l'intelligence du réseau électrique avec des caractéristiques plug-and-play. L'intégration d'un plus grand nombre de MG dans un réseau de distribution favorise le développement du réseau intelligent. Leur coordination pourrait conduire à une grande fiabilité du système avec un faible coût, et une forte résistance aux pannes électriques. La réalisation de ces profits repose sur des technologies développées de communication et de stratégies de contrôle. La répartition de la puissance dans les MG répartis tout en coordonnant les éléments au sein de chaque MG exige un contrôle décentralisé. L'approche multiagent permet de modéliser un réseau de MG comme un système physiquement distribué. Cette thèse étudie principalement le contrôle de coordination dans le réseau MG et sa modélisation à base d'agent. L'objectif est de promouvoir la performance des contrôles en termes d'efficacité et de fiabilité. Deux méthodes sont envisagées pour permettre l'évolutivité du système, y compris la coordination avec les MG voisins et dans la zone de coordination étendue. Une plateforme de simulation est établie pour valider les approches proposées. Les stratégies de contrôle pour la coordination entre les MG et leurs voisins sont proposées afin de maintenir la charge complète et la sécurité tout en minimisant le coût de production. Le contrôle centralisé dans le groupe de coordination est appliqué à la gestion économique de l'énergie. Il utilise une méthode de Newton-Raphson pour répartir la puissance entre les MG voisins en simplifiant la relation entre le coût de production de MG et sa puissance de sortie. Une approche fondée sur le consensus est adoptée pour calculer le flux de puissance du réseau, et les résultats sont comparés avec la capacité maximale sur la ligne pour assurer un fonctionnement sûr. Pour améliorer encore les avantages économiques, l'approximation de la relation entre la puissance de production de MG et le coût de production est améliorée par une autre stratégie fondée sur la notion de marché. Il construit un marché pour le commerce d'électricité avec les voisins. Cette méthode préserve la vie privée de chaque MG. Le calcul du débit de puissance est simplifié pour être proportionnel à la différence d'angle entre les deux extrémités de la ligne de raccordement. Les deux stratégies sont testées sur plusieurs réseaux MG. Leur performance montre que les deux approches sont évolutives et pourraient économiquement compenser le manque d'approvisionnement en charge dans les MG défectueux. Pour la stratégie de contrôle avec une fiabilité et un profit plus élevés, une stratégie de coordination au sein d'une vaste zone sélectionnée de MG est proposée. L'élargissement de la zone de coordination en fonction des MG voisins fournit plus de sources d'énergie au MG. Il assure suffisamment de puissance pour compenser le déséquilibre et offre plus de choix pour la distribution de puissance. La sélection de la zone de coordination est réalisée par un algorithme évolutionnaire distribué. La programmation quadratique dans Gurobi est utilisée pour résoudre le problème de répartition de puissance. Un autre algorithme génétique est également adopté pour résoudre le problème de la répartition optimale de la puissance avec un coût de production quadratique pour la microturbine. La performance de cette stratégie est testée, et les résultats montrent qu'elle a des avantages en termes de fiabilité, d'évolutivité et de profit par rapport aux méthodes centralisées.

## Abstract (in English):

As renewable sources penetrate the current electrical system to relief global warming and energy shortage, microgrid (MG) emerges to reduce the impact of intermittent generation on the utility grid. Additionally, it improves the automation and intelligence of the power grid with plug-and-play characteristics. Inserting more MGs into a distribution network promotes the development of the smart grid. Thus MG networks existing in the power system are in prospect. Coordinating them could gain a system with high reliability, low cost, and strong resistance to electrical faults. Achieving these profits relies on developed technologies of communication, control strategy, and corresponding algorithms. Dispatching power in distributed MGs while coordinating elements within the individual MG demands a decentralized control system, in which the multi-agent system possesses advantages. It is applied to the MG network for establishing a physically distributed system. Based on the multi-agent system, this thesis mainly studies the coordination control in the MG network and its modeling. It aims at promoting control performance in terms of efficiency, reliability, economic benefit, and scalability. Two methods are considered to enable the system scalability, including the coordination with neighboring MGs and within the

extensive coordinating area. A simulation platform is established to validate the proposed approaches. The control strategies for coordination between MGs and their neighbors are proposed to maintain the complete load supply and global security operation while minimizing the generation cost. Centralized control in the coordination group is applied for economic energy management. It uses a Newton-Raphson method to dispatch power among neighboring MGs by simplifying the relationship between MG generation cost and its output power. An average consensus approach is adopted to calculate the caused network power flow, and the results are compared with the maximal capacity on the line to keep safe operation. To further improve the economic benefits, the approximation of the relationship between MG output power and the caused generation cost is improved by an another strategy based on the market concept. It builds a market for neighboring power trade. This method maintains the operation privacy of individual MG. Power flow calculation is simplified to be proportional to the angle difference between the two terminates of the connecting line. Both strategies are tested on several MG network. Their performance shows that both approaches possess scalability and could economically compensate for the lack of load supply in faulted MG. For the control strategy with higher reliability and profit, a coordination strategy within a selected extensive area of MGs is proposed. Expanding the coordination area based on neighboring MGs provides more energy sources to the demanded MG. It ensures enough power to compensate imbalance and offers more choices for power dispatching. The selection of the coordination area is based on a distributed evolutionary algorithm. Quadratic programming in Gurobi is used to solve the power dispatching problem. Another genetic algorithm is also adopted to solve the problem of optimal power dispatching with a quadratic generation cost for microturbine. The performance of this strategy is tested, and the results show that it has comprehensive advantages on reliability, scalability, and profit compared with centralized methods.