



Ecole Centrale de Lyon - INSA de Lyon – Université Claude Bernard Lyon 1  
**Laboratoire Ampère**  
**Unité Mixte de Recherche du CNRS - UMR 5005**  
Génie Electrique, Electromagnétisme, Automatique, Microbiologie environnementale  
et Applications

## **ALEP : Allocation de commande pour l'Electrotechnique et l'électronique de Puissance (ALEP)**

**Laboratoire :** Ampère, UMR CNRS 5005

**Domaine scientifique principal :** Commande de systèmes sur-actionnés, électronique de puissance, électrotechnique

**Priorités :** M1/M2

**Mots clés (5 max) :** Allocation de commande, gestion de saturations, optimisation sous contraintes, commande de convertisseurs DC/DC en parallèle, commande de moteurs électriques

### **Directeurs de thèse et comité d'encadrement**

*Directeur de thèse (Ampère)*

Xuefang Lin-Shi - [xuefang.shi@insa-lyon.fr](mailto:xuefang.shi@insa-lyon.fr) (10%)

*Comité d'encadrement*

Jean-François Trégouët - [jean-francois.tregouet@insa-lyon.fr](mailto:jean-francois.tregouet@insa-lyon.fr) (30%) (*Ampère*)

Romain Delpoux - [romain.delpoux@insa-lyon.fr](mailto:romain.delpoux@insa-lyon.fr) (30%) (*Ampère*)

Jean-Yves Gauthier - [jean-yves.gauthier@insa-lyon.fr](mailto:jean-yves.gauthier@insa-lyon.fr) (30%) (*Ampère*)

### **Départements concernés**

MIS

### **Contexte Scientifique**

De par leurs natures intermittentes, l'intégration des sources d'énergies renouvelables dans le réseau électrique pose des difficultés inédites. Parmi les solutions proposées à ce problème, le concept de MicroGrid a bénéficié d'une attention particulière de la part de la communauté scientifique. Ce type de réseau repose sur l'interconnexion locale de sources et de moyens de stockage énergétique via des réseaux basses tensions, constituant une solution technique décentralisée à échelle réduite. Ce sujet de thèse vise à améliorer les systèmes de gestion de flux d'énergie au sein de MicroGrids, dans un cadre allant de la conception théorique à la réalisation pratique. Dans cette perspective, le candidat s'appuiera sur les outils de l'automatique permettant une conception modulaire, parmi laquelle les techniques de l'allocation de commande tiendront une place prépondérante.

### **Objectif de la thèse, verrous scientifiques et contribution originale attendue**

#### **Objectif 1 : formalisation du problème de la synthèse de superviseur pour MicroGrid**

En distribuant les dispositifs de production d'énergie et de stockage, les réseaux MicroGrid permettent de répondre à une demande énergétique locale, de façon à constituer des modules suffisamment autonomes pour supporter une déconnexion temporaire au réseau principal. En rapprochant la production de la consommation, cette approche décentralisée permet (i) une diminution des pertes liées au transport, (ii) une planification plus fine de la consommation et (iii) une augmentation de la robustesse aux déficiences du réseau principal [1, 2]. La flexibilité offerte par ce type de configuration requiert un système de supervision sophistiqué, apte à tenir compte des intermittences conjointes de la production et de la consommation via une re-configuration continue des flux d'énergie. Les différents convertisseurs de puissance, assurant l'interconnexion entre les différents éléments du MicroGrid, devront ainsi être pilotés de manière à assurer une extraction de puissance maximale des sources, tout en minimisant les pertes sur le réseau et en tenant compte au mieux des capacités et du vieillissement des dispositifs de stockage.

**Verrous scientifiques :** Les différentes couches fonctionnelles de gestion des MicroGrids ont fait l'objet d'une attention inégale de la part de la communauté automatique. Si la commande individuelle des sources et des dispositifs de stockage (couche basse) est un domaine relativement bien exploré, la régulation de la tension du réseau local ainsi que l'orientation des flux de puissances (couches hautes) n'ont été abordées que récemment [3, 4, 5] du point de vue propre à l'automatique, c'est-à-dire en mettant en évidence les entrées/sorties du système dans le but de proposer des rétro-

actions et des critères de performances adaptés. De par les preuves formelles qu'elle permet d'établir, ce type de formalisation constitue pourtant une étape essentielle vers la conception d'un système de supervision robuste et performant.

**Contribution originale attendue :** Le premier objectif de cette thèse est donc de contribuer à la mise en place d'un cadre formel pour la gestion de MicroGrid permettant d'appréhender plus facilement l'état de l'art (élaborer principalement dans la communauté de génie électrique) et de proposer des stratégies novatrices. De façon complémentaire, le candidat participera activement au développement du banc d'essai de MicroGrid, initié récemment au laboratoire.

### **Objectif 2 : développements méthodologiques pour l'allocation de commande**

Le développement d'algorithmes de supervision s'appuyant sur une démarche de conception modulaire constitue le second objectif de cette thèse. L'accent sera mis en particulier sur les techniques d'allocation de commande. Ces dernières visent à répartir un effort global sur l'ensemble des actionneurs d'un même système, dans le cas où ces derniers sont redondants. Si ces techniques ont été historiquement développées pour les systèmes sur-actionnés (en particulier dans le domaine de l'aéronautique) [6, 7], elles s'avèrent applicables à des classes de systèmes plus vastes, dès lors que le concept d'actionneurs bénéficie d'une acception plus large. En l'occurrence, la démarche de cette thèse repose sur l'assimilation des dispositifs de production et de stockage d'énergie du MicroGrid à des actionneurs dont l'action doit être coordonnée pour répondre à un objectif de contrôle global : la satisfaction de la demande énergétique.

**Verrous scientifiques :** Utilisée de longue date dans des domaines industriels très variés, l'allocation de commande a fait l'objet d'un effort d'unification et de formalisation significatif au cours des dernières années. Les avancées récentes cherchent notamment à fonder l'approche modulaire (commande haut niveau accompagnée d'un allocateur) que permet l'allocation de commande, c'est-à-dire à valider la segmentation du problème général en sous-problèmes s'influençant mutuellement [8]. Toutefois, de nombreuses questions restent ouvertes. En particulier, comment garantir *a priori* la stabilité et la performance du système global, tout en effectuant un traitement individuel des sous-problèmes ? Comment établir une méthodologie systématique de segmentation modulaire et sur quels critères s'appuyer pour cette étape ? Quelle est la méthodologie la plus adéquate pour l'analyse des solutions des sous-systèmes ?

**Contribution originale attendue :** Dans cette perspective, le second objectif de cette thèse est de contribuer au développement du cadre méthodologique associé à l'allocation de commande et en particulier de chercher à fonder mathématiquement l'approche modulaire permise par ce type d'approche. La méthodologie développée sera appliquée à la synthèse de superviseurs pour les MicroGrids.

### **Objectif 3 : application de l'allocation de commande à l'électrotechnique et l'électronique de puissance**

Parmi les applications classiques de la théorie de la commande en électrotechnique et en électronique de puissance (ETEP), nombreuses sont celles qui se rapportent à des modèles dont le régime permanent est sous-déterminé. A titre d'exemple, on pourra citer la commande de convertisseurs de puissance en parallèle (répartition des courants) ou la commande de moteur (fluxage) [9]. Mal identifiés, les degrés de libertés liés à cette indétermination ne sont toutefois pas toujours correctement traités, par crainte de déstabilisation du système asservi.

**Verrous scientifiques :** Il a été récemment démontré que l'allocation de commande est en mesure de répondre à cette problématique au travers du concept de sur-actionnement faible [8]. Ce cadre laisse présager la possibilité de tenir compte de contraintes fortes sur la localisation des points d'équilibre dans l'espace d'état. Une méthodologie systématique répondant adéquatement à cet objectif reste toutefois à construire.

**Contribution originale attendue :** Le troisième objectif de cette thèse est d'utiliser les outils de l'allocation de commande pour gérer de façon optimale les degrés de libertés existant dans la définition du régime permanent des problèmes classiques de l'ETEP.

### **Programme de recherche et démarche scientifique proposée (1/2 page max)**

Le doctorant devra mener en parallèle des travaux théoriques sur l'allocation de commande et les mettre en œuvre expérimentalement sur les bancs d'essais du laboratoire, associés aux applications visées en ETEP.

### **Objectif 1 :**

En lien avec le projet de l'ANR C3u, l'accent sera mis sur les MicroGrids à courant continu. Les

compétences reconnues du laboratoire dans les technologies de composants électroniques de puissances seront mises à profit, afin d'explicitier les hypothèses sous-jacentes aux différents modes de fonctionnements du système.

La prise en main du banc d'essai MicroGrid existant au laboratoire Ampère constitue une étape importante en lien avec cet objectif. Par ailleurs, le candidat participera aux projets d'évolution de ce banc.

**Objectif 2 :**

L'étude bibliographique initiale s'efforcera de restituer dans un cadre unifié les dernières avancées permettant de garantir la stabilité des stratégies de contrôle reposant sur l'allocation de commande. L'application de l'état de l'art en la matière au banc d'essai MicroGrid permettra de mettre en évidence les directions pertinentes à suivre pour combler les lacunes de l'état de l'art.

**Objectif 3 :**

La première étape consistera à mettre en évidence les structures de sur-actionnement existantes dans certains problèmes classiques d'ETEP de façon à pouvoir tirer parti de cette formulation pour traiter ces problèmes dans un cadre général via des techniques d'allocation. Au regard des lacunes théoriques mises en évidence, il s'agira ensuite d'enrichir le catalogue de techniques de synthèse de correcteurs applicables aux systèmes sur-actionnés faibles (régime permanent sous-déterminé) et, finalement, de valider expérimentalement ces méthodologies.

**Profil du candidat recherché (prérequis) :** Une forte compétence en automatique et en théorie de la commande sont requises. Des connaissances en ETEP sont également appréciées. Le candidat pourra s'appuyer sur les fortes compétences expérimentales développées au laboratoire sur l'aspect commande de systèmes d'ETEP.

**Compétences développées au cours de la thèse et perspective professionnelle**

Le candidat développera des compétences générales dans le domaine de l'automatique continue et, en particulier, sur allocation de commande. Il aura aussi renforcé, à l'issue de la thèse, ses compétences en génie électrique et ses capacités expérimentales.

**Bibliographie sur le sujet de thèse**

- [1] P. Piagi and R. H. Lasseter, "Autonomous control of microgrids," in IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 8–16, 2006.
- [2] B. Kroposki, R. Lasseter, T. Ise, S. Morozumi, S. Papatlianassiou, and N. Hatziargyriou, "Making microgrids work," IEEE Power and Energy Magazine, vol. 6, no. 3, pp. 40–53, 2008.
- [3] J. Schiffer, R. Ortega, A. Astolfi, J. Raisch, and T. Sezi, "Conditions for stability of droop-controlled inverter-based microgrids," Automatica, vol. 50, no. 10, pp. 2457–2469, 2014.
- [4] W. Qi, J. Liu, X. Chen, and P.-D. Christofides, "Supervisory predictive control of standalone wind/solar energy generation systems," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 19, pp. 199–207, Jan 2011.
- [5] A. Parisio, E. Rikos, and L. Glielmo, "A model predictive control approach to microgrid operation optimization," IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 22, no. 5, pp. 1813–1827, 2014.
- [6] Oppenheimer, Doman, M. 2010. "Control Allocation." In Control Handbook edited by W. S. Levine.
- [7] Tréguët, Jean-François, Denis Arzelier, Dimitri Peaucelle, Christelle Pittet, and Luca Zaccarian. 2015. "Reaction Wheels Desaturation Using Magnetorquers and Static Input Allocation." Control Systems Technology, IEEE Transactions on 23 (2): 525–539.
- [8] Dynamic allocation for input redundant control systems, L. Zaccarian, Automatica 45 (6), 1431-1438
- [9] Verl, Alexander, and Bodson, Marc. "Torque maximization for permanent magnet synchronous motors." Control Conference (ECC), 1997 European. IEEE, 1997.