



Sujet de Thèse

Modélisation environnemental des composants d'un micro-réseau associant énergies renouvelables, systèmes de stockage et électromobilité dans le but de réaliser le dimensionnement et la gestion de l'énergie.

Mots clés : *batteries, vieillissement, gestion de l'énergie, dimensionnement, micro-réseau, mobilités électriques, soutenabilité forte, analyse sur cycle de vie.*

Résumé :

Ce sujet vise à développer et améliorer des modèles de composants de micro-réseau intégrant des critères environnementaux de type Analyses de Cycle de vie. Ces modèles devront donc également prendre en compte le vieillissement et l'amortissement des composants. Ils seront développés/améliorés dans le but d'être intégré dans un outil de dimensionnement/gestion dédié aux micro-réseaux. Des cas d'études issues des plateformes développées dans le projet REMED et Grid4mobility permettront de tester l'outil, les méthodes développées, fourniront les données d'entrées et/ou permettront la validation des modèles et l'application des stratégies de gestion développées dans cette thèse.

Contexte :

Face au changement climatique, l'intégration des énergies renouvelables (EnR) dans le réseau semble être une des solutions possibles. Les technologies liées aux EnR se sont considérablement développées, notamment les systèmes photovoltaïques (PV) qui devraient couvrir jusqu'à 22 % de la production totale d'énergie dans le monde en 2050.

Toutefois, le PV est une EnR de nature intermittente et sans inertie. Ce caractère aléatoire réduit sa capacité à fournir une source d'énergie stable et le rend plus difficile à intégrer au réseau. Pour garantir la stabilité et la fiabilité des réseaux intelligents intégrant des EnR, des systèmes de stockage de l'énergie (SSE), telles que les batteries ou des systèmes « hydrogène », doivent être intégrés pour assurer l'équilibre entre la production et la consommation mais aussi pour permettre plus de flexibilité au système.

Les bâtiments ont aujourd'hui un impact environnemental significatif à l'échelle mondiale, représentant approximativement 30% des émissions de gaz à effet serre. Pour réduire cet impact, l'intégration de source d'EnR distribuées et associées à des SSE au sein de micro-réseaux alimentant le bâtiment va permettre de réaliser des économies d'énergie, d'encourager les utilisateurs à l'autoconsommation ou encore d'implémenter différentes stratégies de gestion de soutien au réseau national. Ces micro-réseaux vont permettre de consommer localement, efficacement et de gérer intelligemment et avec moins de contraintes qu'à l'échelle nationale, les multiples sources du micro-réseau, dont les SSE.

Afin d'optimiser l'intégration des SSE dans les micro-réseaux à fort taux d'EnR, il est nécessaire de travailler sur des stratégies de gestion optimale de l'énergie. Il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes dont certaines n'ont pas été encore totalement étudiées.

Deux tendances se dessinent dans les secteurs de l'énergie et des transports suite aux problématiques environnementales et aux réglementations sur les émissions de CO₂.

D'une part, on observe une forte pénétration des énergies renouvelables (éolienne et photovoltaïque) au sein du réseau et notamment via l'installation de micro-réseaux à l'échelle d'un bâtiment ou d'un quartier. Cette tendance amène de nouveaux verrous à lever liés à une distribution de l'énergie bidirectionnelle et une production intermittente et distribuée plutôt que centralisée :

- Difficulté de continuité de service liée à l'intermittente de la production qui nécessite l'installation de systèmes de stockage de l'énergie (SSE) ;
- Problématiques de gestion et de dimensionnement des sources et des SSE par rapport à des critères technico-économique et environnementaux, voir sociaux ;
- Problématique d'imbrication entre la gestion d'un système et le dimensionnement de celui-ci ;
- Problématiques liées à l'intégration de ces micro-réseaux distribués au sein du réseau principal de distribution.

- Problématiques liées à la validité de ces solutions ayant pour but de limiter l'impact environnemental de l'énergie électrique et de la mobilité.

D'autre part, l'électrification des véhicules est en plein essor et les batteries des véhicules électriques (VE) deviennent plus attrayantes en termes de taille et de densité énergétique. Les systèmes « hydrogène » deviennent aussi plus attrayant en terme de coût et de durabilité. Le concept de *Vehicule to Grid* (V2G) devient de plus en plus présent dans la littérature académique et dans l'industrie et laisse envisager la possibilité que les batteries des VE soit utilisées comme des SSE pour rendre différents services au réseau. De plus, une autre approche aujourd'hui développée est celle de la réutilisation des batteries de VE en seconde vie pour le stockage stationnaire, après une première vie dans le VE. Enfin, le déploiement massif des VE encourage la réflexion autour d'une production et d'une distribution de l'énergie électrique efficace et soutenable.

Dans ce contexte, la conception systémique c'est-à-dire l'étude de la gestion et du dimensionnement des micro-réseaux de manière couplée, tout en prenant en compte le vieillissement des SSE et l'impact environnemental global du système, représente un enjeu majeur. Cette question est aujourd'hui étudiée au cas par cas, généralement en ne considérant que des critères d'optimisation technico-économique. Il semble donc nécessaire de développer des outils de simulation afin d'évaluer/comparer sur des objectifs multicritères leur pertinence face aux enjeux environnementaux et sociétaux. Un problème d'optimisation doit alors être résolu pour atteindre le coût total minimum attendu (en terme économique et écologique).

Sujet :

Le but est de participer au développement d'un outil de simulation et de conception de micro-réseau afin de générer des lois de gestion optimisées pour évaluer les performances du système d'un point de vue énergétique, économique et environnemental.

In fine, l'outil devra être capable d'utiliser une approche couplée de dimensionnement/gestion qui prendra en compte le vieillissement des SSE des VE et/ou des systèmes stationnaires ainsi que l'impact environnemental global.

Cette thèse se focalisera plus spécifiquement sur les aspects modélisation des composants (batterie, panneau photovoltaïque, pile à combustible, électronique de puissance ...) d'un point de vue environnemental. Pour cela des modèles de type Analyse de Cycle de Vie seront développés et utilisés. Ils intégreront les aspects vieillissement des composants ce qui permettra également de prendre en compte les coûts (financiers et environnementaux) de production et d'amortissement.

Ce sujet se déroulera en parallèle et en forte interaction avec une autre thèse portant plus spécifiquement sur les méthodologies et les outils de dimensionnement et de gestion de micro-réseau. Ces travaux devront donc in fine intégrer les modèles de composants développés dans ce travail dans les outils de gestion et de dimensionnement.

Pour cela le ou la doctorant/doctorante sera amené(e) à réaliser les actions suivantes :

- Etude bibliographique sur les différents modèles dans les applications micro-réseaux.
- Etat de l'art sur les stockeurs d'énergie (batteries Li-ion et hydrogène) et leurs modèles de dégradation.
- Enrichir la bibliothèque de simulation VEHLIB⁽¹⁾ avec des modèles d'éléments d'un micro-réseau (sources de production éolienne, solaire, stockeurs d'énergie stationnaire, consommateurs (résidence, industrie), interactions avec les véhicules V2G). Adapter les modèles existants (électrique, thermique et de vieillissement) pour des applications stationnaires (voir modéliser des batteries de seconde vie).
- Développer puis intégrer dans VEHLIB des modèles de type Analyse sur cycle de vie permettant d'évaluer l'impact environnemental global d'un micro réseau. Des outils de type « Brightway2 » liés à des bases de données environnementales type Ecoinvent seront utilisés à cette fin. Le couplage de ces outils avec VEHLIB et/ou les outils de gestion/dimensionnement sera à réaliser.
- Développer un outil évolutif permettant de prendre en compte le vieillissement des SSE afin de pouvoir les inclure dans les calculs de CAPEX et OPEX et définir leur influence sur la durabilité en fonction de l'usage.
- Inclure les modèles et contraintes liées à l'utilisateur et au réseau dans le contexte du V2G ou G2V.

Dans le cadre du projet REMED, portés par les laboratoires impliqués dans cette thèse, des plateformes de démonstration seront déployées. Ces plateformes serviront de cas d'études pour appliquer les méthodologies développées. D'une part, elles fourniront des données d'entrées pour les modèles (ensoleillement, recharge véhicule, taille des composants ...). D'autre part, l'outil développé contribuera à la mise au point des stratégies de gestion implémenter au sein de ces plateformes et fournir des éléments de dimensionnement. De même, les résultats de simulation seront validés expérimentalement sur ces plateformes.

Profil du candidat ou de la candidate recherchée :

Le ou la candidat(e) sera issu d'un Master ou d'une école d'ingénieurs et devra avoir des bases solides en génie électrique. Des connaissances dans les systèmes « batterie » ou « hydrogène », l'Analyse de Cycle de Vie, la programmation, ou les méthodes d'optimisation seront les bienvenus.

Rémunération :

En fonction du profil du candidat(e)

Informations pratiques :

Ces thèses se dérouleront conjointement entre le Laboratoire Ampère situé à Villeurbanne (69100) et le Laboratoire LICIT-ECO7 situé à Bron (69500).

Date de début : dès que possible, en fonction de la disponibilité des candidats

Ecole Doctorale : EEA (Electronique, Electrotechnique et Automatique)

Encadrement et Contact :

Hugo Helbling : hugo.helbling@univ-lyon1.fr

Emmanuel Vinot : emmanuel.vinot@ifsttar.fr

Ali Sari : ali.sari@univ-lyon1.fr

Merci d'envoyer vos candidatures à toutes les adresses mentionnées ci-dessus.

Bibliographie:

Mwasilu, J. J. Justo, E. K. Kim, T. D. Do, and J. W. Jung, "Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 34, no. June, pp. 501–516, 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.03.031.

G. Guérard, S. Ben Amor, and A. Bui, "Survey on smart grid modelling," *Int. J. Syst. Control Commun.*, vol. 4, no. 4, pp. 262–279, 2012, doi: 10.1504/IJSCC.2012.050822.

M. Hassini, "Batteries lithium-ion de seconde vie dans des applications de recharge : maîtrise du vieillissement," <http://www.theses.fr/s262697#>

S. Sarabi, "Contribution of Vehicle-to-Grid (V2G) to the energy management of the Electric Vehicles fleet on the distribution network," <http://www.theses.fr>, Nov. 2016, Accessed: Sep. 30, 2021. [Online]. Available: <http://www.theses.fr/2016ENAM0050>.

J. Maurilio Raya-Armenta, N. Bazmohammadi, J. Gabriel Avina-Cervantes, D. Sáez, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Energy management system optimization in islanded microgrids: An overview and future trends," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111327.

H. Shahinzadeh, I. Member, M. Moazzami, S. H. Fathi, and G. B. Gharehpetian, "Optimal Sizing and Energy Management of a Grid-Connected Microgrid using HOMER Software," in *2016 Smart Grids Conference (SGC)*, 2016, pp. 20–21. doi: 10.1109/SGC.2016.7882945.

A. Roy et al., "A combined optimization of the sizing and the energy management of an industrial multi-energy microgrid: Application to a harbour area," *Energy Conversion and Management: X*, 2021, doi: 10.1016/j.ecmx.2021.100107.

N. Dougier, P. Garambois, J. Gomand, and L. Roucoules, "Multi-objective non-weighted optimization to explore new efficient design of electrical microgrids," *Appl Energy*, vol. 304, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.117758.

M. A. P. Mahmud, N. Huda, S. H. Farjana, and C. Lang, "Techno-Economic Operation and Environmental Life-Cycle Assessment of a Solar PV-Driven Islanded Microgrid," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 111828–111839, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2927653.

P. Nagapurkar and J. D. Smith, "Techno-economic optimization and environmental Life Cycle Assessment (LCA) of microgrids located in the US using genetic algorithm," 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.11.072.

R. Rigo-Mariani, B. Sareni, and X. Roboam, "Integrated optimal design of a smart microgrid with storage," *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 8, no. 4, pp. 1762–1770, Jul. 2017, doi: 10.1109/TSG.2015.2507131.

R. Rigo-Mariani, B. Sareni, X. Roboam, and C. Turpin, "Optimal power dispatching strategies in smart-microgrids with storage," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 649–658, Dec. 2014, doi: 10.1016/J.RSER.2014.07.138.

Sari, D. Hissel, C. Espanet, "Particles swarms optimization applied to the Co-design of the fuel cell air circuit", *Journal of Power Sources*, Volume 179, Issue 1, 2008, Pages 121-131.

A. Sari, D. Hissel, C. Espanet, "Simultaneous optimal design of control and geometry of a fuel cell system motor compressor group ", *Second Conference on Simulation and Multidisciplinary Design Optimization (JOPTI 2006)*, ASMDO, Belfort, France - May 23-24, 2006.

Elie RIVIERE, Ali SARI, Pascal VENET, Frédéric MENIERE, Yann BULTEL, "Innovative Incremental Capacity Analysis Implementation for C/LiFePO4 cell State-of-Health estimation in Electrical Vehicles", *Journal Batteries*, vol. 5(2), no. 37, 1 April 2019, DOI: 10.3390/batteries5020037

William Wheeler, Pascal Venet, Yann Bultel, Ali Sari, Elie Rivière, “Aging in first and second life of a G/LFP 18650 cell: diagnosis and evolution of the state of health of the cell and the negative electrode under cycling” *Journal Batteries*, vol. X, no. X, 22 February 2024,

A. Chauvin, A. Hijazi, E. Bideaux, and A. Sari, “Combinatorial approach for sizing and optimal energy management of HEV including durability constraints,” *IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 2015, pp. 1236–1241, Búzios, Rio de Janeiro

M. Ben-Marzouk, G. Clerc, S. Pelissier, A. Sari, P. Venet, “Generation of a real-life battery usage pattern for electrical vehicle application and aging comparison with the WLTC profile”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.6, N°70, 5618-5627 , 2021.