



Proposition de Thèse de doctorat en Energétique (CNU 61 et 62)

Référentiel d'aide à la décision pour l'optimisation de la flexibilité de systèmes multi-énergies à l'échelle d'un quartier

INFORMATIONS GENERALES

Universités/Laboratoires : Université Savoie Mont Blanc France/LISTIC et Université Savoie Mont Blanc France/LOCIE (UMR 5281)


Date de démarrage et durée : Début octobre 2024, pour une durée de 3 ans.

Equipe d'encadrement

Responsable scientifique :

Lamia Berrah, *Professeur des Universités*, LISTIC/USMB  lamia.berrah@univ-smb.fr

Encadrement :

Jaume Fitó De La Cruz, *Maître de conférences*, CNU 62, LOCIE/USMB  jaume.fito-de-la-cruz@univ-smb.fr

Employeur : USMB

Type de contrat : CDD Doctorant/Contrat doctoral

Durée du contrat : 36 mois

Quotité de travail : temps complet

Rémunération : La rémunération est d'un minimum de 2100 € mensuel

Inscription en doctorat : Université Savoie Mont Blanc, école doctorale SIE

DESCRIPTION DU SUJET DE THESE

Contexte scientifique

Cette thèse se place dans le contexte du projet FlexTASE (Flexibilité pour les Technologies Avancées des Systèmes Energétiques, PEPR ANR 22-PETA-0009). Le projet bénéficie, entre autres, du soutien de l'USMB via l'École de Recherche Universitaire en Énergie Solaire (PIA EUR ANR-18-EURE-0016) fédérant 6 unités de recherche de l'USMB (LOCIE, LEPMI, LISTIC, LAMA, IREGE, Centre A. Favre) et des équipes du CEA LITEN.

Dans le contexte du développement des énergies renouvelables intermittentes et des risques croissants de tension dans l'approvisionnement en énergie, la recherche d'un équilibre entre l'offre et la demande d'énergie est majeure, aussi bien à l'échelle d'un quartier, d'une ville, d'un territoire, d'une région, qu'au niveau national, nécessitant le développement de méthodes permettant d'évaluer la flexibilité intrinsèque des systèmes énergétiques, ainsi que l'impact de cet équilibre sur les réseaux de distribution et de transmission électrique.



En dessous du niveau du quartier, l'appariement de la production et de la consommation se fait via des micro-réseaux qui doivent être agrégés pour participer à la flexibilité. Au-dessus du niveau régional, l'identification des indicateurs de flexibilité a déjà été largement étudiée, y compris dans sa dimension multi-énergétique. En revanche, du niveau quartier au niveau régional, la définition d'indicateurs de flexibilité est un verrou qui nécessite encore des investigations supplémentaires.

L'enjeu est alors d'ajuster les ressources et les besoins en identifiant les différents potentiels et leviers de flexibilité, qui sont applicables aux systèmes multi-source et multi-énergétiques (notamment les réseaux) aux échelles du quartier et de la ville. Ces leviers de flexibilité concernent la flexibilité des unités de production, de stockage, de dissipation éventuelle et de la demande. Cette adéquation entre la production et la demande fait face à des nombreuses incertitudes stochastiques : sur l'approvisionnement, sur les évolutions du climat, sur les évolutions de la demande (à court et à long terme), sur des dysfonctionnements éventuels (pannes, maintenance...), etc.

Objectifs de la thèse

Par conséquent, l'objectif de cette thèse est de définir des indicateurs de flexibilité (notamment techniques et économiques) intrinsèques aux systèmes multi-énergétiques. Ces indicateurs de flexibilité concernent respectivement la consommation, la production, l'adéquation entre l'offre et la demande, et enfin l'impact sur les réseaux de transmission et de distribution d'énergie. La définition de ces indicateurs répondra aux besoins de pilotage des réseaux. Elle intégrera les différents leviers de flexibilité identifiés directement et indirectement (associations d'unités de production, de stockage, de conversion et de dissipation d'énergie ainsi que des leviers d'adaptation de la demande...) et devrait donc aboutir à la proposition d'indicateurs pouvant être à la fois quantitatifs (initialement davantage inspirés par les sciences de l'ingénieur et la flexibilité directe) et qualitatifs (initialement plutôt inspirés par les sciences sociales et économiques et la flexibilité indirecte).

Une étude proposée dans le cadre du projet FlexTASE repose sur une approche combinatoire pour quantifier le nombre de combinaisons possibles des différents leviers de flexibilité (associations de production d'énergie, stockage, conversion et unités de dissipation ainsi que l'adaptation de la demande) pour satisfaire la demande. Cette approche déterministe est basée sur la représentation du système comme un ensemble d'unités d'énergie équivalentes (y compris le potentiel d'adaptation de la demande), permettant de garantir la satisfaction des besoins énergétiques (thermiques et électriques) du territoire considéré. La flexibilité sera évaluée probablement à différentes échelles temporelles : de la minute pour les systèmes électriques (gestion des contraintes de flux de puissance/tension), à plusieurs heures pour les systèmes thermiques plus inertiels, et jusqu'à plusieurs années (pour des analyses saisonnières et sur la durée de vie des équipements).

En termes de méthodes, nous nous appuyerons sur la combinaison d'associations technologiques, l'utilité des prévisions et l'identification de la consommation d'énergies renouvelables productibles et non pilotables. Cela permettra d'optimiser l'adéquation des ressources/besoins en phase de surplus d'énergie disponible, ainsi qu'en phase de tension dans les ressources disponibles ou l'apparition de congestion. Les indicateurs développés peuvent aborder la question du mécanisme de marché territorial de la flexibilité.

Missions principales et organisation de la thèse

La mission principale est de proposer un référentiel d'indicateurs de performance ayant pour centre la flexibilité, afin de servir comme aide à la décision pour le maximum d'acteurs impliqués dans la mise en place, de la conception au pilotage, de réseaux énergétiques à l'échelle du quartier et de la ville. Ce référentiel englobe des indicateurs de natures différentes : techniques et économiques, mais aussi potentiellement environnementaux ou autres (organisationnels, humains...).



Les travaux débiteront par un état de l'art sur la définition et quantification de la flexibilité dans les systèmes énergétiques à la méso-échelle (bâtiment, quartier), notamment celle des systèmes de production, de transport et de consommation (en particulier le bâtiment). Cet état de l'art aura plusieurs objectifs, à savoir : identifier les « Key Performance Indicators » (KPI) souvent utilisés pour quantifier la flexibilité énergétique ; identifier les carences du système d'indicateurs actuel ; identifier les leviers de flexibilité directs et indirects aux échelles du quartier et de la ville. L'analyse de cette revue de littérature pourra conduire à une révision de la notion de flexibilité.

S'en suivra une définition des indicateurs de flexibilité (en premier techniques et économiques) intrinsèques aux systèmes multi-énergétiques. Il sera question d'étudier le comportement de chaque indicateur ainsi que les relations entre les différents indicateurs (possibilité de trouver des solutions Pareto-optimales, etc.). Le référentiel sera concrétisé sous la forme d'un logiciel d'aide à la décision multicritère, qui devrait intégrer les différents leviers de flexibilité directs et indirects identifiés (associations d'unités de production, de stockage, de conversion et de dissipation d'énergie, leviers d'adaptation de la demande...), dans un contexte d'incertitudes multiples.

Le référentiel et le logiciel associé seront capitalisés sous un ou plusieurs cas d'étude des partenaires du projet FlexTASE. Cette mise en œuvre sur des cas réels, en plus de contribuer au développement du référentiel, débouchera sur d'autres formes de valorisation telles qu'un benchmarking entre les différents indicateurs ou des recommandations (règles et meilleures pratiques) aux autorités publiques, aux urbanistes, aux gestionnaires de réseau, enfin aux différents acteurs des systèmes énergétiques dans les territoires, pour le déploiement progressif d'énergies renouvelables.

Mots clés : flexibilité énergétique, réseaux d'énergies, systèmes multi-énergétiques, aide à la décision, indicateurs.

Bibliographie pour démarrer

Amadeh A. et al, "Quantifying demand flexibility of building energy systems under uncertainty," *Energy*, vol. 246, p. 123291, mai 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.123291

Brunner C. et al, "The future need for flexibility and the impact of fluctuating renewable power generation," *Renew. Energy*, vol. 149, pp. 1314–1324, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.128

Cruz M. R. M. et al, "A comprehensive survey of flexibility options for supporting the low-carbon energy future," *Renew. Sustain. Energy Rev.* 97, pp. 338–353, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.08.028.

Degefa M. Z. et al, "Comprehensive classifications and characterizations of power system flexibility resources," *Electr. Power Syst. Res.* 194, no. January, p. 107022, 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2021.107022.

D'Ettoire F. et al., "Exploiting demand-side flexibility: State-of-the-art, open issues and social perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 165, p. 112605, sept. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112605.

Golmohamadi H. et al, "Integration of flexibility potentials of district heating systems into electricity markets: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 159, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112200.

Junker R. G. et al., "Characterizing the energy flexibility of buildings and districts," *Applied Energy*, vol. 225, pp. 175–182, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.05.037.

Møller Sneum D., "Barriers to flexibility in the district energy-electricity system interface – A taxonomy," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 145, no. February 2020, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111007.

Twum-Duah N. K. et al, "A Comparison of Direct and Indirect Flexibilities on the Self-Consumption of an Office Building: The Case of Predis-MHI, a Smart Office Building," *Frontiers in Energy Research.* 10:874041., 2022, doi:10.3389/fenrg.2022.874041



CONTEXTE DE TRAVAIL

La thèse, en tant que collaboration étroite entre les laboratoires LOCIE et LISTIC, bénéficiera du contexte de travail des deux laboratoires quant aux approches scientifiques, les méthodes et les outils.

Le LOCIE (Laboratoire prOCédés, énergle bâtimEnt), unité mixte de recherche de l'USMB et du CNRS (UMR 5281), membre de l'Institut National de l'Energie Solaire (INES), concentre ses activités de recherche sur 3 thématiques liées au bâtiment, dont l'énergie durable et la valorisation des sources renouvelables d'énergies à l'échelle du bâtiment et de la ville. Ce laboratoire s'est engagé dans le projet FlexTASE, qui s'intéresse aux effets de l'intégration des sources renouvelables et de la récupération d'énergie sur la flexibilité énergétique d'un territoire.

Le laboratoire LISITIC (Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance) est une Unité de Recherche de l'Université Savoie Mont Blanc (USMB). Ses travaux portent sur la modélisation, la spécification et le développement de théories, d'algorithmes et de systèmes pour gérer les connaissances, qui trouvent leur application dans de multiples domaines dont le génie industriel et les systèmes complexes. Depuis plus de 20 ans, le LISTIC travaille sur le développement d'un cadre pour l'expression de la performance, la définition des indicateurs et la mise en œuvre des démarches d'amélioration continue. Il a engagé un partenariat fort avec les entreprises de la région (Fournier, Entremont, Maped, SOMfy, Staubli, Mecalac, NTN Europe, etc.), autour de ces questions de performance et plus récemment de transitions numérique et énergétique.

CONTRAINTES ET SPECIFICITES

Des déplacements réguliers seront à prévoir entre les laboratoires LOCIE (Bourget du Lac) et LISTIC (Annecy) tout au long de la thèse. Des déplacements occasionnels à Grenoble sont planifiés pour des réunions d'axe et des réunions plénières du projet PEPR FlexTASE. Suivant les cas d'étude abordés, des déplacements ponctuels pourront avoir lieu aux sites de partenaires du projet FlexTASE.

Des séjours à l'étranger, dans des universités partenaires pourront être organisés. Une bonne maîtrise de l'anglais est ainsi nécessaire pour communiquer, publier et présenter les résultats lors de conférences internationales et dans des revues internationales.

INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

Compétences et profil du candidat

Le candidat doit détenir, ou être sur le point de terminer un diplôme de master ou ingénieur au moment de sa candidature. L'inscription en thèse sera conditionnée à l'obtention de ce diplôme.

Le profil idéal est celui d'un ingénieur ou d'un master dans les domaines de l'énergie, mais cela n'est pas rédhibitoire. Il est important que le candidat soit sensibilisé à une vision pluridisciplinaire des métiers de l'ingénierie et du monde technique.

Le candidat retenu devra avoir de solides compétences techniques dans les domaines de l'énergétique et/ou du génie des procédés, ainsi que des outils scientifiques et méthodologiques utilisés. Il doit présenter une appétence par les approches d'optimisation multi-objectif. Des compétences en développement collaboratif de logiciels (notamment de logiciels Python sous Github) et en création de Notebooks de Jupyter seraient un plus.

Autonome, curieux, rigoureux et force de proposition, le candidat doit montrer un réel intérêt à s'engager dans des recherches innovantes de haut niveau. De bonnes compétences rédactionnelles sont requises (français, anglais). Relevant du contexte du projet PEPR FlexTASE, cette thèse requiert du candidat une capacité à savoir travailler en équipe pluridisciplinaire et à respecter les échéances décidées collégialement.



Candidature

La procédure de candidature se fait par voie électronique à : lamia.berrah@univ-smb.fr et jaume.fito-de-la-cruz@univ-smb.fr

Elle contiendra :

1. CV détaillé comprenant expérience et connaissances professionnelles pertinentes ;
2. Lettre de motivation et d'intérêt pour la recherche (avec les noms et adresses e-mail d'au moins deux personnes de référence), en expliquant les raisons du souhait de poursuite en doctorat, en exposant les centres d'intérêts académiques, leur lien avec les études menées et les objectifs futurs ;
3. Notes de Master (M1 M2) ou d'école ingénieur (L3, M1, M2) et tout document jugé utile (lettres de recommandation, références des responsables de cours, appréciations obtenues lors des stages réalisés, etc.).

A l'issue d'une première sélection sur dossier, les candidats sélectionnés seront auditionnés par les encadrants de la thèse. Des auditions par voie de visioconférence peuvent être organisées.