

## Thèse – Supervision et optimisation des flux énergétiques sur le territoire de la ZAC Ferney Genève Innovation

**Laboratoire d'accueil** : LOCIE-UMR CNRS/USMB 5271, bât. Hélios, 60 av. du lac Léman, Savoie Technolac, 73376 Le Bourget du Lac

**Direction** : Julien Ramousse ([julien.ramousse@univ-smb.fr](mailto:julien.ramousse@univ-smb.fr)), Jaume Fitó De La Cruz ([jaume.fito-de-la-cruz@univ-smb.fr](mailto:jaume.fito-de-la-cruz@univ-smb.fr))

**Financement** : AMI Démonstrateur de Ville Durable - ZAC Ferney Genève Innovation

**Date de démarrage souhaitée** : octobre 2024

### Contexte

Afin d'atteindre l'objectif de décarbonation territoriale fixé dans les accords de la COP21, le déploiement massif des réseaux de chaleur et de froid urbains est fortement encouragé par l'Agence internationale de l'énergie (AIE). L'essor des réseaux de chaleur basses températures (ou réseau d'énergie) [1-2], permettant d'améliorer leur efficacité énergétique et de promouvoir l'autoconsommation locale de sources d'énergie renouvelables et de récupération pour une résilience accrue des quartiers, entraîne une complexité croissante : couplage entre les vecteurs énergétiques (chaleur, froid, électricité) impliquant une diversité d'unités énergétiques (systèmes de conversion d'énergie, unités de production distribuées avec des sous-stations bidirectionnelles (prosommateurs) et des stockages d'énergie). Pour faire face à cette complexité, des outils numériques dédiés sont nécessaires pour prendre en compte les interconnexions entre les multiples unités énergétiques (production, conversion, stockage et consommation) de différents vecteurs énergétiques mises en œuvre sur un territoire [3-5], pour assurer une gestion efficace de l'énergie au niveau local.

L'acquisition et l'analyse des données rendues massivement disponibles dans ces systèmes innovants est ainsi fondamentale pour une compréhension fine de la distribution des flux énergétiques sur le territoire (depuis les ressources jusqu'aux demandes finales). Cela nécessite la mise en œuvre d'outils de supervision dédié pour le suivi et le diagnostic du système énergétique territorial.

La supervision et l'analyse fine des flux énergétiques mis en jeu à l'échelle du territoire ouvrent la voie à des stratégies de contrôle avancées pour bénéficier des possibilités de flexibilité offertes par le couplage énergétique [6-7], en s'appuyant sur l'optimisation multicritères pour prendre en compte de multiples parties prenantes [8]. L'utilisation croissante de sources intermittentes, telles que l'énergie solaire ou éolienne, et d'unités de stockage d'énergie, fait appel à des stratégies de contrôle réactive et anticipative innovantes [10-13] afin de garantir une gestion efficace de l'énergie. En outre, l'élasticité de la demande d'énergie, décrite par l'indice de niveau de service [9], favorise l'atteinte de compromis multi-agents pour une gestion efficace de l'énergie. Ainsi, une stratégie de contrôle collaborative [5, 14-15] est nécessaire pour répondre aux demandes multi-énergétiques réparties dans le quartier avec des sources d'énergie distribuées.

## Objectif

La diversité des systèmes énergétiques innovants et interconnectés implémentés sur le territoire de la ZAC Ferney Genève Innovation (solaire PV, Thermique et Hybride, géothermie, boucle d'énergie, air Pods – mobilité par air comprimé...) se traduit par une richesse et une complexité forte pour assurer une gestion territoriale efficiente des énergies.

Cette thèse vise ainsi à concevoir instrument dédié pour une gestion territoriale des flux énergétiques sur la base du suivi et de l'optimisation des flux métaboliques et économiques. Cela consiste ainsi à mettre en œuvre un outil de supervision/monitoring/maintenance préventive des échanges de flux énergétiques multi-vecteurs sur le territoire, qui permettra de répondre aux objectifs suivants :

- Comprendre finement le fonctionnement global par la mise en place d'un suivi en temps réel des flux énergétiques sollicités sur le territoire
- Caractériser la répartition des flux énergétiques sur le territoire, depuis les ressources jusqu'aux demandes finales, et identifier les temps de dysfonctionnement (inadéquation entre demandes et ressources)
- Consolider les outils de prévision et de suivi : apprentissage profond, surveillance, détection de dysfonctionnements
- Etudier l'adéquation entre production locale et demande afin de définir des voies privilégiant l'autoconsommation à l'échelle du territoire
- Re-questionner les règles de pilotage pour une gestion réactive et anticipative optimale des flux d'énergies et des différentes unités énergétiques
- Evaluer les opportunités d'implémentation d'unités énergétiques additionnelles (stockage, unité de conversion...) pour sécuriser l'approvisionnement énergétique et améliorer la flexibilité opérationnelle
- Définir des scénarios prospectifs, à l'horizon 2050, qui prendront en compte les effets du changement climatique en termes de potentiel d'énergies renouvelables et de demande énergétique, ainsi que les tendances vers un schéma volontaire de transition énergétique.

Ce système d'informations ressources pour tous les acteurs du territoire sera valorisé dans la Cité des Savoirs à des fins pédagogiques et de communication, et pourra être étendu au territoire du Grand Genève par la suite.

### Verrous scientifiques

Les verrous scientifiques soulevés par cette problématique portent sur les volets suivants :

- Acquisition de données diverses en temps réel et constitution d'une base de données (séries temporelles de variables physiques) évolutive, homogène et structurée
- Analyse d'un système complexe multi-énergies à l'échelle du territoire par la construction d'indicateurs de performance dédiés
- Modélisation et optimisation de systèmes énergétiques multi-sources, multi-énergies et multi-acteurs

En complément, les verrous techniques suivants devront être abordés :

- Développement d'une base de donnée évolutive, afin de s'adapter aux aménagements des systèmes énergétiques sur le territoire
- Mise en œuvre d'un outil numérique de supervision pour la restitution pédagogique et l'analyse en temps réel des flux énergétiques sur le territoire

### Planning prévisionnel

T0 à T0+6	Etat de l'art sur les outils d'analyse des systèmes territoriaux multi-énergies
T0+6 à T0+12	Acquisition de données et constitution de la base de données
T0+12 à T0+18	Identification et évaluation d'indicateurs de performance dédiés
T0+18 à T0+24	Mise en œuvre d'un outil de simulation des flux énergétiques à l'échelle du territoire
T0+24 à T0+30	Optimisation des stratégies de pilotage des flux énergétiques territoriaux et évaluation des opportunités d'implémentation d'unités énergétiques spécifiques additionnelles
T0+30 à T0+36	Rédaction du manuscrit de thèse et préparation de la soutenance

Des activités de valorisation (séminaires, conférences, articles) sont à prévoir tout au long de la thèse, en fonction de l'avancement des travaux.

### Profil recherché

Le candidat devra présenter de fortes compétences en énergétique et en gestion et analyse de base de données, avec une grande ouverture scientifique et un fort intérêt pour le travail collaboratif. Des compétences de communication, orale et écrite, tant en français qu'en anglais sont attendues.

## Références

- [1] Lund H et al. 4th Generation District Heating (4GDH). *Energy* 68:1–11, 2014.
- [2] Buffa S. 5th Generation District Heating and Cooling Systems: A Review of Existing Cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, 2019.
- [3] Geidl M et al. Optimal power flow of multiple energy carriers. *IEEE Trans Power Syst* 22, 2007.
- [4] Blanco L et al. Data-driven classification of Urban Energy Units for district-level heating and electricity demand analysis, *Sustainable Cities and Society*, 2023, 105075. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105075>
- [5] Tiwari S et al. Optimal energy management of multi-carrier networked energy hubs considering efficient integration of demand response and electrical vehicles: A cooperative energy management framework, *Journal of Energy Storage* 51, 2022.
- [6] Tereshchenko T et al. Energy planning of district heating for future building stock based on renewable energies and increasing supply flexibility. *Energy* 112, 2016.
- [7] Corsettia E. Modelling and deploying multi-energy flexibility: The energy lattice framework. *Advances in Applied Energy* 2, 2021.
- [8] Fitó J et al. Decision support for technical design of on-the-spot renewable energy projects involving several stakeholders. *Local Energy Communities*, Routledge, pp.313-340, 2022.
- [9] Ruparathna R et al. Developing a level of service (LOS) index for operational management of public buildings. *Sustainable Cities and Society* 34, 2017.
- [10] Saloux E et al. Model-based predictive control to minimize primary energy use in a solar district heating system with seasonal thermal energy storage. *Applied Energy* 291, 2021.
- [11] Ceuster G et al. Model-predictive control and reinforcement learning in multi-energy system case studies. *Applied Energy* 303, 2021.
- [12] Hou W et al. A Real-Time Rolling Horizon Chance Constrained Optimization Model for Energy Hub Scheduling. *Sustainable Cities and Society* 62, 2020.
- [13] Castelli AF et al. A robust rolling-horizon algorithm for the optimal operation of multi-energy systems with yearly constraints and seasonal storage. *Comput. Aided Chem. Eng.* 48, 2020.
- [14] Fan C et al. A collaborative control optimization of grid-connected net zero energy buildings for performance improvements at building group level. *Energy* 164, 2018.
- [15] Li X et al. Collaborative scheduling and flexibility assessment of integrated electricity and district heating systems utilizing thermal inertia of district heating network and aggregated buildings. *Applied Energy* 258, 2020.