

Optimisation sous incertitude de la conception de réseaux de chaleur de nouvelle génération

Contexte

Le développement des réseaux de chaleur de 4e et 5e générations conduit à repenser totalement l'architecture des moyens de production afin de favoriser la pénétration des énergies renouvelables dans le mix de production de chaleur. Ces nouvelles générations de réseau de chaleur visent également à accroître leurs interactions avec les autres réseaux notamment celui d'électricité, afin d'augmenter leur flexibilité et de minimiser l'impact environnemental de la production de chaleur (Power-to-Heat à partir d'électricité renouvelable bas carbone). Cette démarche s'inscrit donc pleinement dans l'objectif de développement durable n°7 « énergie propre et d'un coût abordable » de l'ONU.

L'optimisation de la conception de ces nouveaux réseaux constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour leur développement, les investissements étant importants et devant s'inscrire sur un temps long (évolution des moyens de production mais aussi de la demande) avec un grand éventail de technologies possibles, incluant notamment le solaire, ressource intermittente et variable. De plus, le prix de l'électricité (utilisation d'électricité renouvelable en excès, généralisation des pompes à chaleur, etc.) devient de fait une variable d'importance à prendre en compte dès la conception¹.

Enjeux et verrous scientifiques

Le projet CORRES (Conception Optimale et Résiliente de Réseaux de chaleur interconnectÉS) réunit les laboratoires [CETHIL](#) et [AMPÈRE](#) avec le soutien d'un groupe d'industriel ([NewHEAT](#), [EnerTime](#), [Epsilon-Alcen](#), [Planète OUI](#) & [LikeWatt](#)) pour répondre aux enjeux suivants pour le développement d'outils de conception optimale de réseaux de chaleur :

1. L'intégration de séries temporelles (profils de demande, prix de l'énergie, etc.) sur des horizons divers (quelques heures à plusieurs années dans le cas du stockage de chaleur géologique) tout en préservant un volume de données compatible avec la résolution du problème d'optimisation ; l'introduction de séries temporelles fait apparaître des problèmes de clustering (identifier les profils de demande/consommation), de prédiction (estimer le comportement dans le futur en fonction d'un contexte) et de prescription (quelles décisions prendre en fonction des quelques hypothèses éventuellement connues)
2. La prise en compte de la dynamique et du pilotage des systèmes dans la résolution du problème d'optimisation : niveau de charge, activation/désactivation, temps minimum de fonctionnement, rampes de montée et de descente en puissance, dégradation des performances en charge partielles, etc. Cette prise en compte nécessite souvent de développer des modèles physiques complexes et de tenir compte de variables de commande ce qui augmente considérablement le temps de résolution du problème d'optimisation
3. La formalisation d'objectifs et de contraintes d'optimisation qui permettent de prendre en compte de façon pertinente des critères énergétiques, économiques et environnementaux.
4. Du fait de l'augmentation du taux de pénétration des énergies renouvelables, variables et intermittentes, ainsi que de l'occurrence de phénomènes climatiques perturbateurs (des conditions météorologiques s'éloignant considérablement de la moyenne) pouvant impacter fortement la demande et/ou la production sur des périodes longues, l'obtention de systèmes résilients passe par une meilleure prise en compte de ces phénomènes lors de étapes de dimensionnement et de conduite des systèmes énergétiques.

Objectifs de la thèse et déroulé envisagé

La thèse proposée vise les objectifs suivants :

- O.1** Développer un outil d'optimisation de la conception de réseaux de chaleur qui s'appuie sur un portefeuille technologique comprenant notamment les briques technologiques suivantes : pompe à

¹ Dorotić H, Pukšec T, Duić N. Multi-objective optimization of district heating and cooling systems for a one-year time horizon. Energy 2019;169:319–28. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.149>

chaleur, stockage thermique court terme et saisonnier, chaudière au gaz/biomasse/électrique, solaire thermique, solaire photovoltaïque, batterie électrique, cycle générateur d'électricité (par ex. ORC).

- O.2** Évaluer la robustesse et la sensibilité des configurations obtenues à différents scénarii économiques et environnementaux déterministes
- O.3** Évaluer cette même robustesse et sensibilité avec des scénarios intégrant une dimension stochastique (par exemple sur les prix de l'électricité, la demande, etc.)
- O.4** Valider la pertinence des configurations optimales obtenues en fonctionnement réel (intégration notamment de la dynamique des systèmes et d'une stratégie de commande)

Pour y répondre, le déroulé suivant est envisagé :

- Recherche et analyse bibliographique. Elles serviront notamment à élaborer les approches & méthodes permettant de répondre aux objectifs. Un temps sera également consacré à la collecte de données sur les éléments constitutifs des réseaux nouvelle génération (moyens de conversion, de stockage, profils de demande, de ressource, etc.) et ce en relation avec les industriels partenaires.
- Pose du problème d'optimisation. Cette tâche a pour objectif de formuler le problème d'optimisation en privilégiant une approche strictement MILP^{2,3} (Mixed Integer Linear Programming) pour utiliser les solveurs dédiés. Au besoin, les lois non linéaires permettant de décrire le comportement des composants seront linéarisées. Une réflexion sur le juste compromis entre fidélité du modèle et taille du problème sera menée afin de prévenir le risque de temps de calcul trop élevé. Un travail sera plus particulièrement mené pour formaliser la ou les fonctions objectifs pour rendre compte des enjeux technico-économiques et environnementaux.
- Génération et exploitation des résultats. Analyse des résultats et mise à disposition des résultats et des méthodes & outils développés. Trois étapes sont prévues :
 - Résolution avec approche déterministe pour obtenir une configuration optimale de référence,
 - Résolution avec approche stochastique qui nécessitera une réflexion sur l'intégration de cette dimension via une reformulation du problème⁴,
 - Évaluation des performances des configurations optimales en simulation dynamique annuelle et confrontation aux résultats obtenus lors des phases d'optimisation. Le modèle dynamique aura été développé auparavant en grande partie.
- Communication et diffusion des résultats. Tout au long de la thèse via des articles soumis dans des journaux scientifiques et la participation à des conférences dans le domaine. Une communication professionnelle vers les partenaires industriels est également attendue.

Profil recherché

- Ingénieur ou Master 2 parcours « énergie » avec des connaissances en modélisation des systèmes énergétiques et en optimisation de ces systèmes
- Goût prononcé pour la modélisation mathématique, la simulation numérique, l'utilisation des outils mathématiques pour l'ingénieur (statistique, optimisation, contrôle/commande, etc.)
- Capacité à travailler et progresser en autonomie,
- Aptitude à entretenir des relations professionnelles dans le cadre d'un projet collaboratif impliquant des industriels.

Contact

Envoi CV à : Marc CLAUSSE (CETHIL), marc.clausse@insa-lyon.fr & Eric BIDEAUX (AMPERE), eric.bideaux@insa-lyon.fr

² Fazlollahi S, Becker G, Maréchal F. Multi-objectives, multi-period optimization of district energy systems: II—Daily thermal storage. *Comput Chem Eng* 2014;71:648–62. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.10.016>.

³ Elsidio C, Bisch A, Silva P, Martelli E. Two-stage MINLP algorithm for the optimal synthesis and design of networks of CHP units. *Energy* 2017;121:403–26. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.014>.

⁴ Mei F, Zhang J, Lu J, Lu J, Jiang Y, Gu J, et al. Stochastic optimal operation model for a distributed integrated energy system based on multiple-scenario simulations. *Energy* 2021;219:119629. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119629>.