

THÈSE

OPTIMISATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE DE SUBSURFACE : DU SOUS-SOL AU BÂTIMENT

Description du sujet :

Le secteur du bâtiment est un secteur sujet à une forte consommation d'énergie. Cela représente 43% de l'énergie finale en France, au-dessus de la moyenne européenne qui est de 40% (Atam et Helsen, 2016). Par ailleurs, avec la démocratisation récente du télétravail, cette demande énergétique domestique (chauffage, climatisation, éclairage) pourrait être revue à la hausse. La consommation domestique est aujourd'hui principalement dépendante des énergies fossiles, ce qui la rend très vulnérable au regard des tendances géopolitiques variables, et engendre également des émissions importantes de gaz à effet de serre.

Afin de respecter les engagements de l'accord de Paris sur le climat, il est alors nécessaire de s'inscrire dans une stratégie de sobriété énergétique par la réduction du bilan énergétique des bâtiments d'une part et en utilisant davantage les énergies renouvelables d'autre part. Le dernier rapport du GIEC (avril 2022) place les énergies renouvelables au coeur de toute stratégie de lutte contre les dérèglements climatiques. En France, la loi sur la transition énergétique et la croissance verte fixe jusqu' à 32 % en 2030 la part des énergies renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie. La nécessité de déployer massivement les énergies renouvelables devient donc urgente. Dans ce contexte, le sous-sol nous permet d'y répondre en partie en offrant d'une part l'accès à une source d'énergie (ici thermique) et d'autre part de la stocker (Maragna et Tourlière, 2018). La géothermie est l'une des sources d'énergie renouvelable qui peut fournir une très haute énergie pour produire de l'électricité (température jusqu'à 150°C pour la géothermie profonde) ou basse voir très basse énergie pour chauffer des bâtiments. Nous nous intéressons à cette deuxième catégorie (Géothermie Très Basse Energie : GTBE) où des sondes géothermiques de quelques dizaines de mètres de longueur récupèrent la chaleur du sol via un échange thermique. En effet, la température du sol est pratiquement constante à quelques mètres de la surface. À ces profondeurs, la température reste insuffisante pour être directement exploitée, et une solution de couplage avec une pompe à chaleur (PAC) électrique est dans la plupart des cas nécessaire. Associée à une pompe à chaleur réversible, la GTBE peut également faire office de source de froid pendant l'été et permettre de rafraîchir des bâtiments. Cela est particulièrement intéressant quand le facteur de réchauffement climatique est pris en compte. En effet, la demande en rafraîchissement de bâtiment devrait augmenter de 750% pour le secteur

résidentiel et 275% pour le secteur tertiaire d'ici 2050 (Santamouris, 2016). Il faut noter également que contrairement aux autres types d'énergies renouvelables (solaire, éolien, etc.) la géothermie n'est pas une énergie intermittente.

Malgré un contexte énergétique très favorable, l'utilisation massive de la géothermie est en retard en France par rapport à d'autres pays européens tels que l'Allemagne et le Pays-Bas avec, respectivement, deux fois et sept fois plus d'installations géothermiques en fonctionnement (AFPG 2019). Cela est lié en partie à la méthode de dimensionnement actuelle, très simpliste et loin de la réalité, qui peut conduire à un surdimensionnement des installations géothermiques (en termes de longueur de sonde thermique, la puissance de la pompe à chaleur, etc.) et un surcoût final du projet. Or, le coût d'investissement initial élevé et la période relativement longue de retour sur investissement (7- 8 ans) sont des éléments freinant le développement de la géothermie. En effet, la méthode actuelle de dimensionnement est basée sur le test de réponse thermique (TRT) et son interprétation via une méthode analytique simplifiée d'une source de ligne de chaleur infinie dans un milieu homogène et uniforme.

L'objectif de la thèse proposée est, d'une part, d'améliorer la procédure de dimensionnement en s'appuyant sur une modélisation fine et plus réaliste des sondes géothermiques et, d'autre part, une optimisation du fonctionnement du système global en s'appuyant sur un pilotage intelligent de la PAC. Cela s'inscrit dans une collaboration étroite entre le Centre de géosciences et le Centre Efficacité énergétique des Systèmes (CES). La première tâche concernera la modélisation des sondes géothermiques et s'appuiera sur les compétences de l'équipe géomécanique du Centre de géosciences. Elle concernera deux échelles : à l'échelle d'une sonde (ou d'un groupe de sondes) avec toutes les complexités environnantes (hétérogénéité de terrain, écoulement souterrain, etc.) et à l'échelle régionale à l'aide d'un outil de Machine Learning pour enrichir la base de données des tests thermiques existantes, afin d'améliorer les futurs dimensionnements des sondes en l'absence de TRT.

La deuxième tâche s'appuiera sur les compétences du CES et visera à optimiser le dimensionnement global du système (sondes géothermiques à l'issue de la première tâche, PAC et éventuellement le ballon de stockage eau chaude). Pour cela, les performances énergétique et économique du système seront évaluées en considérant un pilotage intelligent qui répond aux besoins thermiques en temps réel tout en optimisant la performance (COP) de la PAC en présence du stockage. Cela permettra d'identifier des combinaisons optimales et réalistes en fonction du besoin d'énergie du bâtiment et de la disponibilité géothermique. Les résultats d'un projet en cours avec l'agglomération du pays de Fontainebleau (Plan Climat-Air-Énergie Territorial, PCAET) pourraient alimenter cette thèse pour les premières données in-situ.

Références :

AFPG (2019), La géothermie en France, étude de filière.

Atam E. and Helsen L. (2016). Ground-coupled heat pumps: Part 2—Literature review and research challenges in optimal design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1668-1684.

Maragna C., Tourlière B. (2018) - Potentiel du stockage de chaleur fatale en champs de sondes. Rapport BRGM/RP-67592-FR, 39 p., 26 fig., 4 tab., 1 ann.

Santamouris M. (2016). Cooling the buildings – past, present and future, *Energy and Buildings*, Volume 128, P 617-638

Encadrement de la thèse à Mines Paris - PSL :

JAHANGIR Emad et ROUABHI Ahmed (HDR) | Centre GEOSCIENCES

TRAN Cong-toan | Centre Efficacité énergétique des Systèmes (CES)



CETTE THÈSE DE DOCTORAT S'INSCRIT DANS LE CADRE DE THE TRANSITION INSTITUTE 1.5 (TTI.5).

TTI.5 EST UN INSTITUT DE RECHERCHE DE MINES PARIS - PSL DÉDIÉ À LA TRANSITION BAS CARBONE.

POUR PLUS D'INFORMATION, CONSULTEZ [THE-TRANSITION-INSTITUTE.MINESPARIS.PSL.EU](https://www.the-transition-institute.minesparis.psl.eu)