

Sujet de Thèse

Contrat Doctoral  tablissement Campagne 2023 – Université d’Angers

Titre :

 tude des performances énergétiques et environnementales actuelles et futures de pompes à chaleur domestiques

Sujet :

Le secteur du bâtiment est l’un des secteurs clés pour répondre aux enjeux énergétiques et environnementaux mondiaux actuels [1,2]. La méthodologie de l’analyse du cycle de vie (ACV) [3,4] peut être utilisée comme un outil d’eco-conception pour évaluer et aider à atténuer les impacts de l’environnement bâti. Du fait de la longue durée de vie des bâtiments, l’essentiel de la consommation d’énergie et des impacts environnementaux est lié à la phase d’exploitation (50 à 80 %), le reste des impacts étant induit par les autres phases du cycle de vie (construction, rénovation et fin de vie) [5]. Une modélisation précise des systèmes utilisés lors de la phase d’exploitation est donc requise, et l’ACV dynamique peut être utilisée pour une évaluation fiable des impacts environnementaux associés [6,7]. De plus, le bâtiment et ses systèmes évoluent au cours de sa longue durée de vie (par ex. remplacement de matériaux). Le contexte du bâtiment évolue également (par ex.  volution du mix électrique alimentant le bâtiment, ou changement climatique) [8]. L’ACV prospective peut être utilisée pour construire et évaluer des scénarios futurs possibles [9,10]. Dans ce contexte, les objectifs de la thèse sont (i) d’évaluer précisément l’évolution temporelle des performances des systèmes énergétiques dans le contexte actuel (court terme) et dans le futur (long terme) ; et (ii) d’obtenir les impacts environnementaux correspondants à l’aide d’ACV prospectives dynamiques.

Les systèmes énergétiques étudiés dans ce travail seront principalement des pompes à chaleur (PAC), ces équipements étant de plus en plus utilisés dans les logements français. L’ACV de PAC fait encore l’objet de nombreuses recherches [11]. Au lieu d’évaluer les performances des PAC à l’aide d’un modèle physique, une approche basée sur les données sera adoptée. Les données des PAC instrumentées seront traitées avec des algorithmes d’apprentissage automatique (*Machine Learning*) ou profond (*Deep Learning*), comme suggéré dans [12–15] dans le cadre de détection de défauts, de prédiction de coefficients de performance, ou d’optimisation de stratégies de contrôle. De plus, les PAC peuvent être couplées à d’autres systèmes énergétiques pour augmenter l’efficacité énergétique globale, et les bénéfices environnementaux d’un tel couplage seront également étudiés.

Le projet de thèse se déroulera comme suit. Après des étude bibliogrphiques sur l’ACV des PAC, sur l’application d’algorithmes d’apprentissage automatique pour évaluer les performances réelles des PAC, et sur l’élaboration de scénarios prospectifs pour les ACV de bâtiments, trois aspects seront explorés.

- Dans une première partie, les données des PAC instrumentées seront analysées statistiquement afin d’évaluer leurs performances dans différents contextes, tels que la localisation, l’âge ou la taille du bâtiment. Des algorithmes de *clustering* seront appliqués pour identifier des leviers supplémentaires de la performance énergétique des PAC. Ensuite, des algorithmes d’apprentissage automatique ou profond, adaptés pour des séries temporelles, seront utilisés pour développer des modèles de prédiction de performances. L’objectif est d’obtenir des modèles de performance valables dans différents contextes climatiques, aussi bien pour les PAC nouvellement installées que pour celles en fonctionnement depuis quelques années.
- Dans une seconde partie, l’opportunité de coupler la PAC avec des systèmes énergétiques complémentaires sera étudiée. La production d’électricité sur site, avec par exemple des

panneaux photovoltaïques, est une option intéressante pour diminuer la consommation d'énergie primaire des PAC. Comme l'électricité n'est pas nécessairement produite au moment où du chauffage ou du refroidissement sont nécessaires, une évaluation dynamique des gains énergétiques sera nécessaire. Le stockage d'énergie à l'aide de batteries ou de matériaux à changement de phase sera également étudié.

- Dans une troisième partie de la thèse, des scénarios prospectifs seront développés afin d'évaluer la performance énergétique d'un bâtiment chauffé ou refroidi par PAC sur le long terme. Le modèle de prévision des performances sera mis à jour afin d'être cohérent avec des scénarios d'évolution du climat. Plusieurs scénarios de fin de vie des PAC seront développés et la durée de vie typique des PAC sera étudiée.

Dans chaque partie, des études ACV paramétriques seront réalisées afin d'évaluer les impacts environnementaux des logements chauffés ou refroidis par des PAC. Dans le contexte actuel, les impacts environnementaux seront calculés pour différentes typologies de bâtiments (i.e. différentes utilisations, localisations, âges ou tailles de bâtiments), avec différentes technologies de PAC (par ex. utilisant différents fluides frigorigènes) et avec des systèmes complémentaires (photovoltaïque, matériaux à changement de phase). À partir de scénarios prospectifs, représentatifs du contexte futur, les impacts seront évalués pour différentes évolutions du contexte du bâtiment (mix électrique, changement climatique), ou du système énergétique des bâtiments (remplacements par des systèmes équivalents ou améliorés en fin de vie de la PAC, prise en compte de différents scénarios de fin de vie). Enfin, comme de nombreuses hypothèses retenues pour la modélisation énergétique et environnementale peuvent être incertaines ou variables, des analyses d'incertitude et de sensibilité seront réalisées sur les résultats de l'ACV.

Mots-clés :

Bâtiment ; Pompe à chaleur ; Prospective ; Analyse de cycle de vie ; Analyse de données.

Compétences requises :

Le doctorant doit être titulaire d'un Master 2 ou équivalent. Des connaissances sont attendues dans les domaines du bâtiment ou des systèmes énergétiques. La connaissance de l'analyse du cycle de vie ou de l'apprentissage automatique serait un plus. De plus, des compétences en anglais (lu, écrit et parlé) sont requises. Les candidats doivent être motivés par le sujet, curieux, rigoureux et doivent faire preuve d'autonomie et d'initiative.

École Doctorale :

Le doctorant sera inscrit à l'École Doctorale SIS, Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes. <https://ed-sis.doctorat-paysdelaloire.fr/>.

Lieu :

La thèse se déroulera au laboratoire LARIS de l'Université d'Angers: 62 Avenue Notre Dame du Lac, 49 000 Angers.

Direction de la thèse :

Directeur : Thierry Lemenand, Maître de Conférences, HDR : thierry.lemenand@univ-angers.fr

Encadrante : Marie-Lise Pannier, Maître de Conférences : marie-lise.pannier@univ-angers.fr



Références bibliographiques :

- [1] IEA, Global Status Report for Buildings and Construction 2019 – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector, 2019. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>.
- [2] L. Cabeza, L. Rincon, V. Vilarino, G. Perez, A. Castell, Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the buildings sector : A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 29 (2014) 394–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>.
- [3] ISO 14040, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, 2006.
- [4] ISO 14044, Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, 2006.
- [5] A. Sharma, A. Saxena, M. Sethi, V. Shree, Varun, Life cycle assessment of buildings: A review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 871–875. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.008>.
- [6] C. Roux, P. Schalbart, B. Peuportier, Accounting for temporal variation of electricity production and consumption in the LCA of an energy-efficient house, *J. Clean. Prod.* 113 (2016) 532–540. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.052>.
- [7] K. Negishi, L. Tiruta-Barna, N. Schiopu, A. Lebert, J. Chevalier, An operational methodology for applying dynamic Life Cycle Assessment to buildings, *Build. Environ.* 144 (2018) 611–621. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.005>.
- [8] C. Roux, P. Schalbart, E. Assoumou, B. Peuportier, Integrating climate change and energy mix scenarios in LCA of buildings and districts, *Appl. Energy.* 184 (2016) 619–629. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.043>.
- [9] S.I. Olsen, M. Borup, P.D. Andersen, Future-Oriented LCA, in: M.Z. Hauschild, R.K. Rosenbaum, S.I. Olsen (Eds.), *Life Cycle Assess. Theory Pract.*, Springer International Publishing, Cham, 2018: pp. 499–518. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3_21.
- [10] A. Mendoza Beltran, B. Cox, C. Mutel, D.P. van Vuuren, D. Font Vivanco, S. Deetman, O.Y. Edelenbosch, J. Guinée, A. Tukker, When the Background Matters: Using Scenarios from Integrated Assessment Models in Prospective Life Cycle Assessment, *J. Ind. Ecol.* 24 (2020) 64–79. <https://doi.org/10.1111/jiec.12825>.
- [11] S. Marinelli, F. Lolli, R. Gamberini, B. Rimini, Life Cycle Thinking (LCT) applied to residential heat pump systems: A critical review, *Energy Build.* 185 (2019) 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.035>.
- [12] S. Noye, R. Mulero Martinez, L. Carnietto, M. De Carli, A. Castelruiz Aguirre, A review of advanced ground source heat pump control: Artificial intelligence for autonomous and adaptive control, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 153 (2022) 111685. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111685>.
- [13] J.-H. Shin, Y.-H. Cho, Machine-Learning-Based Coefficient of Performance Prediction Model for Heat Pump Systems, *Appl. Sci.* 12 (2022) 362. <https://doi.org/10.3390/app12010362>.
- [14] X. Zhang, E. Wang, L. Liu, C. Qi, Machine learning-based performance prediction for ground source heat pump systems, *Geothermics.* 105 (2022) 102509. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102509>.
- [15] Y. Song, D. Rolando, J. Marchante Avellaneda, G. Zucker, H. Madani, Data-driven soft sensors targeting heat pump systems, *Energy Convers. Manag.* 279 (2023) 116769. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116769>.

