

Titre de la thèse/Thesis title : Optimisation de la performance énergétique dans les bâtiments intelligents : Approches intégrées utilisant des jumeaux numériques, l'intelligence artificielle et le contrôle en temps réel / Optimization of Energy Performance in Smart Buildings : Integrated Approaches Using Digital Twins, Artificial Intelligence, and Real-Time Control.

Laboratoire d'accueil / Host Laboratory : Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne – ICB – UMR CNRS 6303/ Interdisciplinary Carnot Laboratory of Bourgogne – ICB – UMR CNRS 6303.

Spécialité du doctorat préparé/Speciality : Mécanique /Mechanics

Mots-clés / Keywords : Jumeaux numériques, intelligence artificielle, performance énergétique des bâtiments intelligents, gestion énergétique, contrôle en temps réel, simulation et optimisation / Digital twins, artificial intelligence, energy performance of smart buildings, energy management, real-time control, simulation and optimization.

Descriptif détaillé de la thèse / Job description

Les travaux de recherche proposés dans le cadre de ce projet doctoral visent à explorer les méthodes et les outils permettant d'intégrer l'intelligence artificielle et les jumeaux numériques dans la gestion des installations énergétiques des bâtiments pour améliorer la performance énergétique. L'accent sera mis spécifiquement sur l'utilisation des jumeaux numériques dans le contexte des bâtiments intelligents pour les villes durables.

La recherche sera menée en plusieurs étapes, comprenant une revue de la littérature approfondie, des études de cas, des expérimentations et des évaluations quantitatives et qualitatives. Des méthodes de modélisation et de simulation avancées seront utilisées pour concevoir et développer les jumeaux numériques cognitifs pour la gestion énergétique des bâtiments.

L'objectif aussi est de développer un cadre d'optimisation hautement performant capable de gérer efficacement le grand nombre de variables impliquées dans l'optimisation des systèmes énergétiques des bâtiments intelligents. Ceci implique de :

- D'effectuer un état de l'art des jumeaux numériques et de leurs applications dans la gestion énergétique des bâtiments intelligents.
- D'identifier les principaux défis et opportunités liés à l'intégration des jumeaux numériques et de l'intelligence artificielle dans la conception, la simulation et l'optimisation des systèmes énergétiques des bâtiments.
- Concevoir un algorithme d'optimisation rapide pouvant traiter un très grand nombre de simulations nécessaires pour évaluer chaque jeu de paramètres.
- Utiliser des métamodèles pour approximer le comportement du modèle de simulation réel afin de réduire considérablement les temps de calcul.
- Intégrer des techniques de réduction de modèle aux méthodes utilisées pour limiter la complexité des simulations.
- Sélectionner une configuration matérielle, notamment des cartes d'acquisitions, capables de supporter efficacement à la fois les programmes d'optimisation et la prise de décision automatisée.
- Choisir un environnement logiciel, incluant le(s) langage(s) de programmation et la possibilité de générer un exécutable, répondant aux contraintes techniques et temporelles du projet.

L'atteinte de cet objectif permettra de relever le défi du très grand nombre de variables à optimiser tout en assurant des temps de calcul raisonnables pour une application pratique des jumeaux numériques dans la gestion énergétique des bâtiments intelligents.

The proposed research work in this doctoral project aims to explore methods and tools for integrating artificial intelligence and digital twins in the management of building energy facilities to improve energy performance. The focus will specifically be on the use of digital twins in the context of smart buildings for sustainable cities.

The research will be conducted in several stages, including an in-depth literature review, case studies, experiments, and quantitative and qualitative evaluations. Advanced modeling and simulation methods will be used to design and develop cognitive digital twins for building energy management.

The objective is also to develop a high-performance optimization framework capable of efficiently managing the large number of variables involved in optimizing energy systems of smart buildings. This involves:

- Conducting a state-of-the-art review of digital twins and their applications in smart building energy management.
- Identifying the main challenges and opportunities related to the integration of digital twins and artificial intelligence in the design, simulation, and optimization of building energy systems.
- Designing a fast optimization algorithm that can handle a very large number of simulations necessary to evaluate each set of parameters.
- Using metamodels to approximate the behavior of the real simulation model to significantly reduce computation times.
- Integrating model reduction techniques into the methods used to limit the complexity of simulations.
- Selecting a hardware configuration, including data acquisition cards, capable of efficiently supporting both optimization programs and automated decision-making.
- Choosing a software environment, including programming language(s) and the ability to generate an executable, that meets the technical and temporal constraints of the project.
- Achieving this objective will address the challenge of the very large number of variables to be optimized while ensuring reasonable computation times for practical application of digital twins in smart building energy management.

Profil demandé / Applicant profile

Le candidat démontre une forte motivation pour la recherche scientifique et possède une solide maîtrise de l'anglais. Titulaire d'un diplôme de Master avec d'excellents résultats académiques, il a une base solide en physique et en ingénierie énergétique. Connu pour sa rigueur, sa précision méthodologique et son autonomie, il excelle dans la simulation en temps réel, l'analyse de données et la présentation.

Il maîtrise les logiciels essentiels de simulation énergétique, y compris PVsys, HOMER Pro, MATLAB Simulink Designer et Python, qu'il utilise largement dans la simulation et l'optimisation des systèmes énergétiques. De plus, il apporte une expertise en programmation embarquée pour Arduino, Raspberry Pi et des plateformes similaires, ce qui lui permet de développer des solutions de surveillance en temps réel personnalisées pour les systèmes d'énergie renouvelable. / The candidate demonstrates a strong motivation for scientific research and possesses a solid command of English. Holding a Master's degree with excellent academic results, he has a robust foundation in physics and energy engineering. Known for his rigor, methodological precision, and autonomy, he excels in real-time simulation, data analysis, and presentation. He has mastered essential energy simulation software, including PVsys, HOMER Pro, MATLAB Simulink Designer, and Python, which he uses extensively in energy system simulation and optimization. Additionally, he brings expertise in embedded programming for Arduino, Raspberry Pi, and similar platforms, enabling him to develop customized, real-time monitoring solutions for renewable energy systems.

Financement : UTBM dans le cadre d'un projet "Living Lab BADEVEL Démonstrateur Village Durable" Porté par la commune de Badevel et ses Partenaires

UTBM as part of the "Living Lab BADEVEL Sustainable Village Demonstrator" project led by the municipality of Badevel and its partners.

Dossier à envoyer pour le /Deadline : **29/11/2024**

Début du contrat/ Start of the contract : février 2025

Salaire mensuel brut/ Gross monthly salary : 2300 €

Direction de la thèse:/ Thesis Supervisor

Prof. Nadhir LEBAAAL

Encadrement de la thèse : co-directeur(s)

Prof. Salah LAGHROUCHE

La candidature doit contenir les documents suivants : / Application must contain the following documents :

- Curriculum Vitae (CV).
- Cover letter/ Lettre de Motivation.
- Grade Reports M1 and M2 /Relevés de notes M1 et M2.
- Reference letter/ une lettre de recommandation.

La candidature doit être envoyée par e-mail /The application must be sent by email to:

nadhir.lebaal@utbm.fr

Références bibliographiques / Bibliography

[1] Bortolini, Rafaela, Raul Rodrigues, Hamidreza Alavi, Luisa Felix Dalla Vecchia, and Núria Forcada. 2022. "Digital Twins' Applications for Building Energy Efficiency: A Review" *Energies* 15, no. 19: 7002. <https://doi.org/10.3390/en15197002>

[2] Tahmasebinia F, Lin L, Wu S, Kang Y, Sepasgozar S. Exploring the Benefits and Limitations of Digital Twin Technology in Building Energy. *Applied Sciences*. 2023; 13(15):8814. <https://doi.org/10.3390/app13158814>

[3] Huang Z, Shen Y, Li J, Fey M, Brecher C. A Survey on AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: Smart Manufacturing and Advanced Robotics. *Sensors*. 2021; 21(19):6340. <https://doi.org/10.3390/s21196340>

[4] Yitmen, I. (Ed.). (2023). *Cognitive Digital Twins for Smart Lifecycle Management of Built Environment and Infrastructure: Challenges, Opportunities and Practices* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003230199>

[5] Lyu, Z. (Ed.). (2024). *Handbook of Digital Twins* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003425724>

[6] Zhang Z, Wei Z, Court S, Yang L, Wang S, Thirunavukarasu A, Zhao Y. A Review of Digital Twin Technologies for Enhanced Sustainability in the Construction Industry. *Buildings*. 2024; 14(4):1113. <https://doi.org/10.3390/buildings14041113>

[7] Irmak E, Kabalci E, Kabalci Y. Digital Transformation of Microgrids: A Review of Design, Operation, Optimization, and Cybersecurity. *Energies*. 2023; 16(12):4590. <https://doi.org/10.3390/en16124590>

[8] Cespedes-Cubides, A.S., Jradi, M. A review of building digital twins to improve energy efficiency in the building operational stage. *Energy Inform* 7, 11 (2024). <https://doi.org/10.1186/s42162-024-00313-7>