



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

École Nationale Supérieure d'Informatique et d'Analyse des Systèmes
Centre d'Études Doctorales en Sciences des Technologies de l'Information et de l'Ingénieur

AVIS DE SOUTENANCE DE THÈSE DE DOCTORAT

Monsieur Anass BEROUINE

Soutiendra publiquement sa thèse de Doctorat en Informatique

Le 24 Juillet 2023 à 16h00 au Grand Amphi à l'ENSIAS

Intitulé de la thèse

**Predictive Control Approaches Using IoT and Big Data Technologies
for Smart and Energy-Efficient Buildings: Application to Thermal
and Indoor Air Quality Management**

Président :

Pr. Ahmed NAIT-SIDI-MOH, Professeur des universités, Université Jean Monnet Saint-Etienne, France

Directeur de thèse :

Pr. Hassan BERBIA, PES, ENSIAS, Université Mohammed V de Rabat

Co-encadrants :

Pr. Mohamed ESSAAIDI, PES, École Marocaine des Sciences de l'Ingénieur

Pr. Mohamed BAKHOUYA, PES, Université Internationale de Rabat

Rapporteurs :

Pr. Ahmed NAIT-SIDI-MOH, Professeur des universités, Université Jean Monnet Saint-Etienne, France

Pr. Abdelouahed TAJER, PES, ENSA, Université Cadi Ayad de Marrakech

Pr. Nissrine KRAMI, PH, ENSA, Université Ibn Tofail de Kénitra

Examineur :

Pr. Radouane OULADSINE, PH, Université Internationale de Rabat

Invité :

Dr. Soukaina BOUDOUDOUH, Institut de Recherche en Énergie Solaire et Énergies Nouvelles, Rabat



Résumé: Les systèmes de ventilation, de chauffage et de climatisation (CVC) sont les principaux consommateurs d'énergie dans les bâtiments commerciaux et résidentiels. L'amélioration de la consommation d'énergie de ces systèmes, tout en satisfaisant le confort thermique et la qualité de l'air des occupants, est la principale préoccupation des concepteurs et des chercheurs en matière de contrôle et d'automatisation. En effet, avec l'augmentation significative de la consommation d'énergie dans les bâtiments, la demande mondiale d'énergie, en particulier d'électricité, a augmenté. La demande mondiale d'énergie, en particulier d'électricité, ne cesse de croître et la consommation tend à augmenter encore. L'importance de l'énergie dans notre société s'est considérablement accrue, mais les bâtiments publics sont encore très inefficaces lorsqu'il s'agit de gérer l'énergie. Les systèmes de gestion actuels sont généralement conçus pour automatiser les équipements et les composants des bâtiments sur la base de programmes prédéfinis et de décisions locales, tels que les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation et les systèmes d'éclairage électrique, qui sont les principaux éléments importants des bâtiments qui doivent être contrôlés pour économiser de l'énergie.

La principale stratégie utilisée pour améliorer les économies d'énergie consiste à installer simplement des commandes intelligentes pour gérer le fonctionnement de tous les types d'équipements du bâtiment, tels que le chauffage et la ventilation, le refroidissement et la climatisation, l'éclairage, les fenêtres et les dispositifs d'ombrage. La quantité d'énergie consommée dans les systèmes CVC est influencée par plusieurs facteurs qui jouent un rôle important dans la réduction de la consommation d'énergie tout en maintenant le confort des occupants dans les bâtiments. Ces facteurs sont par exemple les propriétés physiques (géographie, type de bâtiment, emplacement), les systèmes de contrôle (système de chauffage, de ventilation et de climatisation, production auxiliaire d'électricité ou d'eau chaude), l'environnement extérieur (conditions météorologiques) et les modèles de comportement des occupants (nombre et présence des occupants, activités). Cependant, la connaissance du contexte est cruciale pour tirer parti des bâtiments économes en énergie en développant des approches de contrôle intelligentes dans lesquelles les tâches de détection et d'actionnement sont exécutées en fonction des changements contextuels. Cela peut se faire en incluant les actions et les comportements des utilisateurs dans un contexte actualisé, en tenant compte des éléments, des situations et des processus interconnectés complexes, ainsi que de leur dynamique.

Dans cette thèse, nous visons à développer des approches de contrôle prédictif basées sur l'IoT et les technologies big data par lesquelles la consommation d'énergie des systèmes CVC pourrait être contrôlée en fonction des situations réelles (par exemple, l'occupation et les données météorologiques) pour une gestion optimale de l'énergie dans les systèmes CVC des bâtiments. Ces approches sont développées et étudiées par le biais de simulations, puis déployées dans des conditions réalistes afin d'étudier leur efficacité pour minimiser la

consommation d'énergie tout en assurant le confort des occupants (c'est-à-dire le confort thermique et la qualité de l'air intérieur). Un modèle d'occupation est également développé et intégré dans ces approches pour une meilleure précision et une meilleure performance.

Mots-clés: Contrôle des systèmes CVC, Gestion thermique et de la qualité de l'air intérieur, Model Predictive Control, Système de gestion de l'énergie des bâtiments, Technologies IoT et Big Data.

Abstract: Ventilation, heating, and air conditioning (HVAC) systems are the main energy consumers in commercial and residential buildings. Enhancing the energy consumption of these systems, while satisfying the thermal and air quality comfort of the occupants, is the major concern of control and automation designers and researchers. In fact with the significant increase of energy consumption in buildings. The world's demand for energy, especially electricity, has been increasingly growing, and consumption tends to grow further. The importance of energy in our society has been growing drastically, but still, public buildings are very inefficient when it comes to managing energy. Current management systems are usually designed for automating building equipment and components based on predefined schedules and local decisions, such as HVAC and electrical lighting systems, which are the main important elements in buildings that must be controlled to save energy.

The main significant strategy used for improving energy savings is simply installing intelligent controls for managing the operation of all types of building equipment, such as heating and ventilation, cooling and air conditioning, lighting, windows, and shading devices. The amount of energy consumed in HVAC systems is influenced by several factors, which play an important role in reducing energy consumption while maintaining occupant comfort in buildings. Examples of factors are physical properties (e.g., geography, building type, location), control systems (e.g., heating, ventilation, and air-conditioning systems, auxiliary production of electricity or hot water), the outdoor environment (i.e., weather conditions), and occupants' behavior patterns (e.g., occupants' number and presence, and activities). Typically, there are two approaches for dealing with this challenge, namely, the use of clean and renewable energy sources and managing energy more efficiently by integrating optimal control approaches. However, context awareness is crucial for leveraging energy-efficient buildings by developing intelligent control approaches in which sensing and actuation tasks are performed according to contextual changes. This could be done by including the users' actions and behaviors in an up-to-date context taking into account the complex interlinked elements, situations, processes, and their dynamics.

In this thesis, we aim to develop predictive control approaches based on IoT and big data technologies whereby the energy consumption of HVAC systems could be controlled according to actual situations (e.g., occupancy, and weather data) for optimal energy management in building HVAC systems. These approaches are developed and



جامعة محمد الخامس بالرباط
Université Mohammed V de Rabat

investigated through simulations and then deployed under realistic conditions in order to study their effectiveness for minimizing energy consumption while ensuring occupant comfort (i.e., thermal comfort and indoor air quality). The occupancy model is also developed and integrated into these approaches for better accuracy and performance.

Keywords: Building Energy Management System, HVAC System Control, IoT and Big Data Technologies, Model Predictive Control, Thermal and Indoor Air Quality Management.

