

Instrumentation frugale des bâtiments connectés par apprentissage adaptatif et explicable

Contexte et enjeux : Le secteur du bâtiment est aujourd'hui au cœur des enjeux énergétiques et climatiques en France. Il représente environ 43 % des consommations énergétiques nationales, dont une part importante est liée au parc immobilier existant. Dans ce contexte, les politiques publiques imposent une réduction progressive et significative des consommations énergétiques des bâtiments à horizon 2030, 2040 et 2050.

Pour atteindre ces objectifs, la connaissance de la performance énergétique réelle des bâtiments constitue un préalable indispensable. Le développement des systèmes de monitoring *in situ* et des technologies de l'Internet des Objets (IoT) permet désormais de collecter de grandes quantités de données sur le fonctionnement des bâtiments : consommations énergétiques, environnement intérieur (température, humidité, qualité de l'air, etc.), occupation, fonctionnement des systèmes techniques, etc. Néanmoins, ces données restent encore majoritairement sous-exploitées.

Ces travaux s'inscrivent pleinement dans les enjeux de **transition numérique** au service de la **transition énergétique**, en visant une réduction durable des consommations énergétiques des bâtiments existants, tout en prenant en compte les usages, le confort et les pratiques des occupants.

Problématique scientifique : Le déploiement de capteurs dans les bâtiments est un sujet d'étude. Le choix de leur emplacement, leur nombre et la fréquence d'acquisition des données, sont des paramètres à investiguer afin de produire des données pertinentes pour comprendre le comportement du bâtiment. Dans un souci de frugalité de l'infrastructure, une voie de recherche est le développement de capteurs virtuels, qui permettent de réduire les coûts liés à l'installation et la maintenance des capteurs réels.

Dans cette perspective, [Guastella, 2020] propose le système HybridIoT destiné à estimer des informations manquantes dans des parties locales de l'environnement qui ne sont pas suffisamment instrumentées par des capteurs. HybridIoT permet de définir une infrastructure IoT hybride, dans laquelle des capteurs virtuels sont placés en des points précis de l'environnement où il n'y a pas de capteur réel déjà positionné puis, d'évaluer pour chaque capteur virtuel, la valeur qu'aurait un capteur réel situé au même endroit. Les estimations produites par un capteur virtuel reposent sur trois mécanismes distincts :

1. Estimation endogène basée sur un historique : l'estimation s'appuie sur les informations précédemment acquises par les capteurs ;
2. Estimation endogène à l'aide de capteurs voisins homogènes : l'estimation utilise les informations de même type (et avec la même unité) acquises par les capteurs situés à proximité de l'endroit où on souhaite connaître une valeur environnementale ;
3. Estimation exogène : l'estimation est réalisée en intégrant des informations hétérogènes (de types différents, avec des échelles différentes).

Ce travail peut répondre soit au problème de la défaillance ou à la panne de capteurs en remplaçant les capteurs défaillants par des capteurs virtuels, soit à la conception d'une infrastructure de capteurs minimisant le nombre de capteurs réels à déployer.

Les objectifs scientifiques de cette thèse s'inscrivent dans la continuité du système HybridIoT. Il s'agira notamment de :

- Déterminer le nombre minimum de capteurs réels pour une précision acceptable ;
- Identifier les zones où l'installation de capteurs réels est requise ;
- Définir la localisation optimale des capteurs virtuels ;
- Déterminer si des corrélations/rerelations causales existent entre différents types de données hétérogènes, à la fois dans l'espace et dans le temps ;
- Évaluer la fiabilité des estimations produites selon les types de données ;
- Calculer le coût énergétique de la solution, comparé au déploiement de capteurs réels.

L'objectif est de tirer parti des corrélations entre capteurs réels et virtuels pour permettre des actions prédictives et contextualisées, au service de la performance énergétique du bâtiment et de la réduction des coûts. Des expérimentations sont prévues sur plusieurs bâtiments du campus via la plateforme sobOCampus (sustainable open buildings On Campus) du Groupement d'Intérêt Scientifique neOCampus (<https://www.irit.fr/neocampus/>).

Les méthodes classiques d'analyse et de pilotage énergétique reposent principalement sur des modèles physiques et des simulations thermiques dynamiques. Bien que puissantes, ces approches s'appuient sur de nombreuses hypothèses et peinent à représenter fidèlement le comportement réel des bâtiments, notamment en raison de la variabilité des usages et du fonctionnement effectif des systèmes.

Les approches fondées sur l'exploitation des données de monitoring *in situ* offrent une alternative prometteuse pour mieux caractériser le comportement énergétique réel des bâtiments. Toutefois, le passage de la simple analyse descriptive des données à une **évaluation quantitative de stratégies de pilotage énergétique** constitue encore un verrou scientifique.

Les récents développements des méthodes d'intelligence artificielle et d'apprentissage à partir des données ouvrent de nouvelles perspectives pour l'analyse des données de monitoring *in situ* et la modélisation du comportement énergétique réel des bâtiments.

Contacts : Valérie Camps IRIT, Université de Toulouse, Valerie.Camps@irit.fr, Bérangère Lartigue LMDC, Université de Toulouse, berangere.lartigue@utoulouse.fr.

Mots-clés : Intelligence artificielle, systèmes multi-agents, optimisation de déploiement de capteurs, estimation de données manquantes, capteurs virtuels, bâtiments intelligents, transition énergétique, modélisation énergétique des bâtiments.

Modalités de candidatures et financement : La thèse sera présentée au concours de l'ED MITT (École Doctorale Mathématique, Informatique, Télécommunications de Toulouse) en vue de l'obtention de son financement. Pour cela, le(a) candidat(e) devra prendre contact avec les directrices de thèse en envoyant un CV, les relevés de notes de licence, M1 et M2 (ou équivalent) ainsi qu'une lettre de motivation. Le montant du contrat doctoral est de 2300€ brut.

Date limite de candidature : 15 avril 2026.

Lieu de la thèse : La thèse se déroulera à l'Institut de Recherche en Informatique de Toulouse.

Compétences souhaitées : Être titulaire d'un Master en Informatique, connaissances en IA et Systèmes Multi-Agents appréciées. Autonomie, esprit d'équipe et solides capacités de rédaction et de synthèse.

Bibliographie : [Guastella, 2020] : Davide Guastella (14/12/2020), Dynamic Learning of the Ambient Environment and of the Ecocitizens Behaviours, Thèse de l'Université Toulouse III Paul Sabatier, Toulouse.