

# Avis de Soutenance



Monsieur Johan ROUSSEL

Spécialité "Génie Civil"

Soutiendra à huis clos ses travaux de thèse intitulés

*Optimisation des consommations d'énergie d'un bâtiment basée sur des modèles d'intelligence artificielle*

dirigés par Monsieur Zoubair LAFHAJ et Monsieur Pascal YIM

Soutenance prévue le **vendredi 28 novembre 2025** à 14h00

Lieu : Cité Scientifique, 59650 Villeneuve-d'Ascq

Salle : grand amphithéâtre Centrale Lille

## Composition du jury proposé

|                            |                                         |                       |
|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
| M. Zoubair LAFHAJ          | Centrale Lille Institut                 | Directeur de thèse    |
| M. Pascal YIM              | Centrale Lille                          | Co-directeur de thèse |
| Mme Laure DUCOULOMBIER     | Centrale Lille                          | Examinatrice          |
| Mme Naima BELAYACHI        | Polytech Orléans                        | Rapporteuse           |
| Mme Fouzia KHADRAOUI-MEHIR | Builders                                | Rapporteuse           |
| M. Isam SHAHROUR           | Université de Lille                     | Examineur             |
| M. Ammar AMINE             | ENSAM                                   | Examineur             |
| M. Mohamed AL-HUSSEIN      | Hole School of Construction Engineering | Examineur             |
| M. Thomas DANIEL           | DECIMA                                  | Invité                |

**Mots-clés :** Construction 4.0, intelligence artificielle, diagnostic énergétique, simulation physique, énergie,

## Résumé :

Le secteur du bâtiment représente 40 % de la consommation énergétique mondiale et 36 % des émissions de gaz à effet de serre. Face aux objectifs du décret tertiaire (-40 % d'ici 2030), cette thèse explore comment l'intelligence artificielle (IA) peut transformer les systèmes de Gestion Technique du Bâtiment (GTB) pour optimiser simultanément performance énergétique et confort. Les systèmes GTB ont évolué depuis les dispositifs pneumatiques des années 60 jusqu'aux premières plateformes intégrant l'IA vers 2015. Les approches conventionnelles, rigides et non apprenantes, génèrent encore 15 à 25 % de surconsommations. L'IA offre des capacités transformatrices : prédiction multi-horizon, optimisation multi-objectifs et adaptation continue. Un état de l'art révèle de possibles économies de 15 à 58 % et une amélioration possible du confort de 25 à 60 %. Cependant, des lacunes subsistent : absence de frameworks de sélection, validation limitée en conditions réelles et gestion des données peu documentée. Cette analyse conduit à trois questions de recherche : développer une méthodologie de sélection algorithmique, identifier les conditions d'implémentation réussie et construire un cadre d'évaluation multidimensionnel. La préparation des données, souvent sous-estimée, s'avère critique. L'analyse de 42 millions d'enregistrements montre qu'une préparation inadéquate dégrade les performances de 25 à 45 %. Pour répondre à cette problématique, les méthodologies développées incluent l'imputation physique des valeurs manquantes, la distinction entre outliers et erreurs, et la création de variables thermodynamiques. La convergence vers 28 variables optimales dans tous les cas suggère une complexité informationnelle intrinsèque aux systèmes thermiques. Cette méthodologie a été appliquée à 3 études de cas : La première porte sur l'étude d'un atelier industriel de 6 000 m<sup>2</sup> et compare la capacité de sept algorithmes à prédire la température en différents points du bâtiment. Dans cette étude, les algorithmes de Gradient Boosting (XGBoost, LightGBM) surpassent les réseaux de neurones avec une MAE de 0,30 °C, inférieure à la précision des capteurs. Cette supériorité s'explique par la faible inertie thermique (1,8 h) et l'absence de patterns temporels complexes. L'analyse spatiale révèle une variabilité de 47 % selon la localisation des capteurs. Le second cas porte sur un bâtiment tertiaire de 860 m<sup>2</sup> qui, malgré sa typologie différente, a une inertie thermique similaire (2,3 h). Ainsi, XGBoost maintient sa supériorité avec un RMSE de 2,1 kWh. Une optimisation permet de n'utiliser que 6 capteurs, maintenant 92 % de performance prédictive, comme pour le cas industriel. La validation selon le protocole IPMVP avec une incertitude sous 8 % établit la crédibilité pour des applications contractuelles. La troisième étude de cas consiste à développer un jumeau numérique combiné à une maquette physique (1:100) et une simulation Node-RED intégrant des modèles thermiques RC et des algorithmes d'IA. La maquette facilite la communication, tandis que la simulation permet l'exploration de scénarios. La validation expérimentale démontre un potentiel de 23 % d'économies d'énergie avec maintien du confort dans 94 % des cas. Cette recherche montre que les propriétés thermodynamiques (inertie, isolation) plutôt que la typologie fonctionnelle déterminent le choix algorithmique optimal, remettant en question les classifications binaires. La méthodologie développée, de l'extraction des données à la validation des économies, structure le déploiement industriel. La convergence vers des principes universels (6 capteurs, 28 variables) suggère des invariants fondamentaux. Le ROI de 18-24 mois avec des technologies open-source permettra une démocratisation de ces solutions. L'IA représente une transformation paradigmatique de la gestion énergétique des bâtiments, établissant un cadre méthodologique pour accélérer la transition énergétique du secteur.