



Pôle des Etudes Doctorales
Centre des Etudes Doctorales
Sciences et Techniques et Sciences Médicales

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE DE DOCTORAT

Madame ACH-CHAKHAR Manal

**Présentera ses travaux de recherche en vue de l'obtention du
Doctorat**

Formation Doctorale : Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Discipline : Génie énergétique

**Spécialité : Énergétique appliqué aux bâtiments et aux
environnements construits**

**Le 20/07/2026 à 09H à la Salle des Conférences Mohammed
ADDOU de la Faculté des Sciences et Techniques de Tanger.**



Sous le thème

**Développement d'une méthodologie numérique multi-échelles pour
l'évaluation du confort thermique, de la qualité de l'air et de la
performance énergétique d'un bâtiment en interaction avec son
environnement**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Etablissement	Qualité
Pr. DIANI Mustapha	FST de Tanger, UAE	Président
Pr. AHACHAD Mohammed	FST de Tanger, UAE	Rapporteur
Pr. EL MANKIBI Mohamed	ENTPE de Lyon, France	Rapporteur
Pr. STABAT Pascal	Ecole des Mines de Paris, France	Rapporteur
Pr. DERFOUFI Soufiane	FST de Tanger, UAE	Examineur
Pr. BOZONNET Emmanuel	LaSIE, Université de La Rochelle, France	Examineur
Pr. M'SAOURI EL BAT Adnane	PANDO 2 de Paris, France	Expert
Pr. ROMANI Zaid	ENA de Tétouan	Co-Encadrant
Dr. GUERNOUTI Sihem	CEREMA de Nantes, France	Co-Directrice
Pr. DRAOUI Abdeslam	FST de Tanger, UAE	Directeur

Structure de recherche: Materials, Systems and Energy Engineering Laboratory (MaSEEL) - FST de Tanger, Maroc UAE/U04FSTTg et Centre d'études et d'Expertise sur les Risques, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema, Ouest) à Nantes, France.

Résumé



Face au changement climatique, à l'intensification des vagues de chaleur et à l'augmentation des besoins de refroidissement, l'évaluation des bâtiments urbains doit mieux représenter les conditions réelles auxquelles ils sont exposés. Les simulations énergétiques classiques considèrent encore souvent le bâtiment comme un objet isolé soumis à un fichier météorologique standard, alors qu'en ville, les façades sont influencées par la densité bâtie, les ombrages, les échanges radiatifs, les écoulements d'air et les concentrations extérieures de polluants.

Ce travail de recherche développe une approche multi-échelle reliant la ville, le quartier et le bâtiment, afin de produire des conditions aux limites localement différenciées et physiquement cohérentes pour évaluer conjointement la performance énergétique, le confort thermique, la ventilation et la qualité de l'air intérieur. Une étude bibliographique sur les modèles de microclimat urbain, les outils de simulation énergétique, les stratégies de couplage, les modèles aérauliques et les méthodes hybrides d'intelligence artificielle a identifié deux limites, à savoir la représentation insuffisante des conditions locales de façade dans les modèles classiques, et le coût élevé des modèles microclimatiques détaillés et des approches CFD.

Pour répondre à ces limites, une approche multi-échelle a été développée. À l'échelle urbaine, l'Urban Weather Generator produit des fichiers météorologiques urbanisés, ensuite projetés vers les climats futurs par morphing climatique, et la qualité de l'air extérieur est reconstruite par une approche hybride forêt aléatoire-panache gaussien pour les $PM_{2.5}$ et PM_{10} ($R^2 = 0,97$ et $0,95$ respectivement). À l'échelle du quartier, une approche thermo-radiative représente les ombrages, les échanges solaires et infrarouges, les réflexions multiples et les températures de surface. La composante aéraulique repose sur le couplage WindFast-PINN, qui reconstruit à coût réduit les champs de vitesse et de pression et en déduit les coefficients d'échange convectif et de pression en façade. À l'échelle du bâtiment, ces grandeurs sont intégrées dans une modélisation thermo-aéraulique et de qualité de l'air intérieur via le couplage TRNSYS-CONTAM.

L'approche a été validée progressivement à partir de dispositifs expérimentaux et de cas de référence. La maquette ClimaBat a évalué la composante thermo-radiative, avec des erreurs moyennes inférieures à 1°C sur les températures de surface. Le dispositif EM2PAU a confirmé la capacité de WindFast-PINN à représenter les principaux phénomènes aérauliques et thermiques d'une rue canyon. Une validation complémentaire a porté sur les coefficients de pression pour des bâtiments isolés et non isolés. L'application au cas BESTEST sous climat de Tanger a montré que la densité urbaine modifie fortement les apports solaires, les échanges radiatifs et les besoins énergétiques, avec une réduction maximale de 50 % en refroidissement et 21 % en chauffage. L'application aux six zones climatiques du Maroc (Tanger, Agadir, Fès, Ifrane, Marrakech, Errachidia) a montré que l'impact du microclimat urbain dépend fortement du climat régional, avec +33 % de DHI estivaux à Marrakech, -11 % à Errachidia, ce qui justifie de compléter le zonage du RTCM par des indicateurs urbains.

L'approche a enfin été appliquée à l'échelle réelle à un bâtiment résidentiel instrumenté dans le quartier du Perray à Nantes. Les mesures de température, d'humidité, de CO_2 , de $PM_{2.5}$, de PM_{10} , d'ouverture des fenêtres et de températures de surface ont permis d'analyser le comportement réel du bâtiment.

L'indicateur Balance Point Concentration (BPC) a été adapté aux logements résidentiels pour évaluer leur capacité à maintenir les concentrations intérieures de particules fines sous des seuils cibles. L'analyse de la canicule de 2003 a montré que la prise en compte du microclimat urbain modifie l'évaluation des températures intérieures, avec des écarts de $1,5$ à 3°C selon les orientations. Des scénarios futurs sous climat RCP4.5 à l'horizon 2050 ont également été étudiés à travers un plan d'expérience à sept leviers (contexte urbain, isolation, menuiseries, ventilation, usage de la cuisine, protections solaires, ouverture des fenêtres). Les degrés-heures d'inconfort dans le séjour-cuisine varient de 531 à 2 703 $^\circ\text{C.h}$ selon la

configuration, mettant en évidence le rôle dominant du contexte urbain et de la gestion des fenêtres. Pour la qualité de l'air intérieur, l'absence de ventilation mécanique augmente le CO_2 jusqu'à 16 938 ppm et l'exposition cumulée aux $\text{PM}_{2.5}$ jusqu'à $146\,181\,\mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$, tandis que la réduction de l'usage de la cuisine diminue cette exposition à $65\,255\,\mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$.

L'approche développée permet ainsi de passer d'une simulation centrée sur un bâtiment isolé à une simulation intégrée du bâtiment dans son environnement urbain réel et futur. Elle constitue un compromis entre représentativité physique, coût de calcul maîtrisé et applicabilité à des cas réels.

Mots clés: Microclimat urbain, îlot de chaleur urbain, simulation thermo-aérodynamique dynamique, WindFast-PINN, qualité de l'air intérieur, confort thermique, besoins énergétiques, densité urbaine, Balance Point Concentration (BPC), morphing climatique.

