

**PROPOSITION DE SUJET POUR UN CONTRAT DOCTORAL/
Clôture des candidatures le :**

Laboratoire	LaSIE et ICube
Titre de la thèse	Modélisation thermique du bâtiment dans son environnement urbain : développement et validation d'un modèle numérique rapide et précis.
Direction de la thèse <i>directeur·trice·s (grade, HDR) et éventuels co-directeur·trice·s</i>	Julien BERGER, CR HDR CNRS Marie Hélène AZAM, PRAG
Adéquation scientifique avec les priorités de l'établissement	Dans le contexte environnemental local et la mise en place du plan <i>La Rochelle Territoire Zero Carbone</i>, l'efficacité énergétique des bâtiments est un enjeu majeur. Les bâtiments existants représentent un important gisement d'économie d'énergie. Ainsi d'important travaux de réhabilitation doivent être engagés à grande échelle. Pour cela, de nombreux modèles de simulation sont développés pour proposer des stratégies de rénovation efficient énergétiquement. De plus, le changement climatique entraîne une augmentation des vagues de chaleur, particulièrement dans les zones urbaines denses, affectant gravement les populations vulnérables. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain aggrave ces effets en dégradant le confort intérieur et extérieur des bâtiments. En raison de son rôle d'interface, l'enveloppe du bâtiment influence significativement la manière dont le microclimat extérieur affecte les conditions intérieures du bâtiment. A l'inverse les choix de matériaux et revêtements constituant les enveloppes peuvent contribuer à l'accentuation de condition locale défavorables. Enfin, les modèles développés doivent intégrer l'interaction forte avec l'environnement urbain proche des bâtiments ainsi que les effets locaux spécifiques (effets côtier par exemple) . D'une part, cet environnement modifie les conditions aux limites (température, radiation & convection) des bâtiments et donc les stratégies de rénovation des bâtiments pour satisfaire des niveaux de confort thermique intérieur et des consommations énergétiques réduite. D'autre part, les îlots de chaleur urbain sont fortement influencés par les enveloppes des bâtiments. Les modèles de bâtiments doivent donc être intégré dans des modélisations à plus grande échelle pour prédire le confort thermique intérieur, lors notamment de vagues de chaleur intenses.
Descriptif du sujet <i>(enjeux scientifiques, applicatifs, sociétaux...)</i>	Contexte et enjeux scientifiques : Le changement climatique entraîne une augmentation des vagues de chaleur, particulièrement dans les zones urbaines denses, affectant gravement les populations vulnérables. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain aggrave ces effets en

dégradant le confort intérieur et extérieur des bâtiments. En raison de son rôle d'interface, l'enveloppe du bâtiment influence significativement la manière dont le microclimat extérieur affecte les conditions intérieures du bâtiment. A l'inverse les choix de matériaux et revêtements constituant les enveloppes peuvent contribuer à l'accentuation de condition locale défavorables.

L'enjeu est de comprendre comment les conditions extérieures affectent le confort thermique intérieur en été afin de concevoir et rénover des bâtiments en zone urbaine dense plus résilients aux vagues de chaleurs.

Les outils actuellement développés à l'échelle du bâtiment, ne permettent pas une prise en compte détaillée de l'environnement urbain et notamment des conditions locales tel que l'effet d'îlot de chaleur urbain. A l'inverse les outils de simulation microclimatique permettent de modéliser finement les conditions microclimatiques locales mais ne proposent qu'une modélisation grossière des bâtiments. Les outils de simulation actuellement développés dans la littérature doivent donc être adaptés afin de modéliser l'interaction entre l'environnement extérieur et intérieur.

L'un des principaux verrous porte sur la méthodologie de couplage des phénomènes physiques entre l'environnement extérieur (échelle d'une rue ou d'un quartier) et intérieur (bâtiment). Le couplage fait référence à la création d'une chaîne de simulation entre un modèle énergétique de bâtiment (BEM, Building Energy Model) et un modèle climatique urbain (UCM, Urban Climate Model), qui opèrent à des échelles différentes. Selon Lauzet et al. (2019) et Sezer et al. (2023) cette intégration est difficile en raison des divergences dans les hypothèses sur les phénomènes physiques, méthodes de résolution et architectures des outils. Ainsi, les outils sont soit chaînés (échange unidirectionnel de données entre les outils UCM et BEM), soit couplés (échange bidirectionnel de données entre les UCM et BEM). Quelle que soit la stratégie choisie, l'état de l'art montre l'importance d'utiliser des conditions climatiques locales pour évaluer les conditions intérieures d'un bâtiment (écarts jusqu'à 30 % sur la consommation d'énergie) et l'importance d'un couplage dynamique en conditions estivales sur des bâtiments non isolés, pour établir des modèles de prédictions fiables.

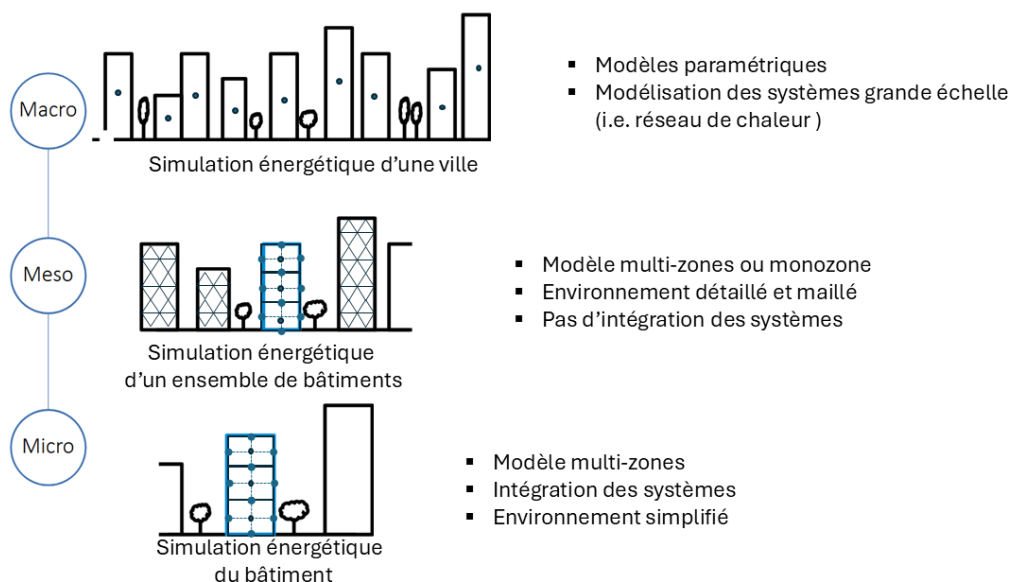


Figure 1: Différentes échelles de simulation présentes dans la littérature scientifique. Chaque échelle correspond à une limite spatiale qui cloisonne les outils. Les interactions entre les échelles ne sont actuellement pas possibles en dehors d'une chaîne de simulation.

Etat de l'art:

Les travaux récents ont mis en évidence l'importance du couplage des modèles pour

mieux représenter les interactions complexes entre le bâtiment et son environnement urbain. Ainsi, Lauzet et al. (2019) et Sezer et al. (2023) ont proposé une classification des méthodologies existantes de couplage. Leurs travaux soulignent l'importance et la nécessité d'améliorer le couplage entre les échelles.

Dans cette perspective, l'amélioration des outils de simulation microclimatique constitue un axe de recherche. A l'échelle du bâtiment, les travaux de Gresse et al. (2022) proposent une modélisation fine 3D de l'enveloppe. A l'échelle urbaine, des travaux récents de l'équipe encadrante (Azam et al. 2025) ont porté sur le développement d'un outil de simulation microclimatique intégrant de manière plus précise les échanges radiatifs à grandes longueurs d'onde à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. Ces progrès ont permis d'affiner le couplage entre les conditions locales à l'intérieur et à l'extérieur.

La validation de ces outils reste un défi central, comme l'ont montré les études d'intercomparaison de modèles conduits par Gresse et al. (2025) et Azam et al. (2025). Ces travaux montrent la nécessité de renforcer la robustesse et la fiabilité des outils de simulations de microclimat urbain.

Par ailleurs, afin de maîtriser les temps de calculs de ces outils de simulation, les méthodes numériques utilisées pour résoudre jouent un rôle déterminant. Dans de précédents travaux, l'usage de plusieurs méthodes de réduction de modèles a été exploré à l'échelle de la paroi, celle du bâtiment et de l'environnement urbain. Parmi ces méthodes, les travaux de Gasparin et al. (2018) ont montré que l'utilisation d'un schéma explicite Dufort Frankel, inconditionnellement stables par conception, offre des performances intéressantes pour la simulation thermique à l'échelle du bâtiment. Berger et al. (2020) ont développé une modélisation 2D fine de l'enveloppe du bâtiment, intégrant l'environnement urbain au moyen d'un schéma explicite de type Dufort-Frankel.

Objectifs de la thèse :

Cette thèse a pour objectif de développer et valider un outil de simulation des transferts de chaleur à l'échelle urbaine prenant en compte l'environnement urbain proche et notamment les conditions locales d'ilot de chaleur urbain. Plus précisément, la thèse devra

- Identifier les phénomènes physiques dominants qui régissent les échanges thermiques entre l'intérieur et l'extérieur à partir de méthode d'analyse de sensibilité basé sur les fonctions de sensibilités (*derivative-based sensitivity analysis*, Jumabekova et al. (2021)),
- développer un modèle de prévision des conditions limites extérieures représentatives du climat local. Pour cela des données de température (issues de base de données Open Source et de mesures locales réalisées à La Rochelle (projet EQLORE <https://data.univ-lr.fr/datasets/11>) et Strasbourg (projet ANR Tir4Street et les travaux de thèse de Nathalia Philipps <https://hal.univ-lorraine.fr/RSPA-ACCN/tel-04614543v1>) et des méthodes d'interpolation spatiales seront utilisées.
- Proposer une nouvelle méthodologie de couplage en intégrant les phénomènes prépondérants et la positionner par rapport aux stratégies de la littérature.
- Implémenter cette méthodologie dans l'outil de simulation microclimatique développé en utilisant un schéma numérique explicite Dufort Frankel, inconditionnellement stable par définition (Gasparin et al. 2018a, 2018b), et valider les prédictions du modèle avec des données expérimentales (Azam et al. 2025, Doya et al. 2012, Djedjig et al. 2015). Une comparaison par rapport aux modèles existant sera réalisée.

Références

Lauzet, N., Rodler, A., Musy, M., Azam, M.-H., Guernouti, S., Mauree, D., & Colinart, T.

(2019). How building energy models take the local climate into account in an urban context – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109390>

Azam, M.-H., Berger, J., Walther, E., and Guernouti, S., (2025). Design and experimental validation of an urban microclimate tool integrating indoor-outdoor detailed longwave radiative fluxes at district scale. in submission, pages 1-28, 2025.

Berger, J., Gasparin, S., Mazuroski, W., & Mendes, N. (2020). An efficient two-dimensional heat transfer model for building envelopes. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 79(3), 163-194.

<https://doi.org/10.1080/10407782.2020.1836936>

Teddy Gresse, Lucie Merlier, Jean-Jacques Roux, Frédéric Kuznik, Three-dimensional and high-resolution building energy simulation applied to phase change materials in a passive solar room, *Energy and Buildings*, Volume 274, 2022

Gresse, T., Soriano, J., Rodler, A., Krapez, J. C., Pierro, J., Schmitt, F., ... & Merlier, L. (2025). Qualification of microclimate models and simulation tools: An academic benchmark. *Building and Environment*, 278, 112913.

AZAM, M. H., MATRY, H., DELASSE, C., RODLER, A., LABAT, M., BONHOMME, M., ... & MUSY, M. Inter-comparaison d'outils de simulation du microclimat urbain et confrontation à de la mesure. *Intercomparison of urban microclimate simulation tools and comparison with measurements*.

Gasparin et al. (2018a). Stable explicit schemes for simulation of nonlinear moisture transfer in porous materials. *Building Simulation*. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0419-3>

Gasparin et al. (2018b). An improved explicit scheme for whole-building hygrothermal simulation. *Journal of Building Performance Simulation*. <https://doi.org/10.1080/19401493.2017.1298669>

Jumabekova et al. (2021). An efficient sensitivity analysis for energy performance of building envelope: A continuous derivative based approach. *Building Simulation*.
<https://doi.org/10.1007/s12273-020-0712-4>

Berger et al. (2020). Parameter estimation and model selection for water sorption in a wood fibre material. *Wood Science and Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s00226-020-01206-0>

Doya, M., Bozonnet, E., & Allard, F. (2012). Experimental measurement of cool facades' performance in a dense urban environment. *Energy and Buildings*, 55, 42-50.

Djedjig, R., Bozonnet, E., & Belarbi, R. (2015). Experimental study of the urban microclimate mitigation potential of green roofs and green walls in street canyons. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 10(1), 34-44.
<https://doi.org/10.1093/IJLCT/CTT019>

Contexte partenarial (cotutelle internationale, EU-CONEXUS, partenariat avec un autre laboratoire, une entreprise...)

- co-tutelle avec l'INSA de Strasbourg, laboratoire de recherche iCube équipe GCE
- partenariat avec l'Eurométropole de Strasbourg (EMS), l'agence du Climat de Strasbourg et Virage énergie, (etc) pour la fourniture de cas de validation expérimentaux (logements et écoles instrumentées) et de données de station météorologiques locales sur la métropole de Strasbourg
- projet ADEME en cours de montage CARE (AAP 2025) et projet ANR THIMOSS soumis (AAP 2026)

Impacts (scientifiques, technologiques, socio-économiques, environnementaux, sociétaux...)

Ce sujet de thèse permettra une avancée importante sur l'optimisation de la performance énergétique et du confort thermique des bâtiments dans leur environnement urbain en proposant un cadre théorique et numérique et des investigations expérimentales pour valider la fiabilité des prédictions des modèles proposés.

D'un point de vue socio-économique, l'approche proposée permettrait de rénover ou construire les bâtiments en proposant des stratégies d'adaptations aux vagues de chaleur extrême. Ce travail aurait donc des retombées sur le secteur de la construction durable et la réhabilitation des bâtiments.

Les avancées du travail doctoral contribueront au rayonnement du laboratoire et de l'établissement au travers la publication des résultats dans des revues à audience internationale et leurs diffusions à la communauté scientifique, technique et aux différents acteurs de la construction et de la réhabilitation.

Programme de travail du doctorant (tâches confiées au doctorant)

Étape 1 – Identification des phénomènes physiques dominants et sélection des modèles.

Avant d'améliorer le couplage entre environnement extérieur et intérieur, il est nécessaire de comprendre quels phénomènes physiques jouent un rôle prépondérant. Une analyse de sensibilité sera menée pour hiérarchiser l'influence relative des différents mécanismes de transfert (conduction 3D/2D/1D, convection, rayonnement solaire et IR) et ainsi simplifier le problème en se concentrant sur les processus dominants. Cette étape sera conduite en utilisant la méthodologie présentée dans les travaux de Jumabekova et al. (2021). Cette première étape permettra de proposer une stratégie de couplage adaptée en s'appuyant notamment sur les travaux de Lauzet et al. (2019). En complément, des techniques de sélection de modèles (par ex. méthodes bayésiennes inspirées des travaux de Berger et al. 2020) pourront être explorées afin d'identifier les modèles les plus pertinents, en conciliant précision et simplicité.

Étape 2 – Développement d'un modèle numérique efficace.

L'amélioration de la représentation des phénomènes physiques dans les modèles risque de conduire à une augmentation des temps de calculs. Pour maîtriser ce point, des méthodes numériques avancées, telles que les schémas explicites de type Dufort-Frankel (Gasparin et al. 2018a, 2018b), seront mises en œuvre. Ces approches, stables et efficaces, permettront d'accélérer le calcul tout en garantissant une bonne précision. Le modèle ainsi développé sera capable de représenter l'ensemble du bilan énergétique (rayonnement solaire et thermique, transferts par conduction et convection dans l'enveloppe et le sol) à l'échelle du bâtiment en intégrant son environnement urbain.

Étape 3 – Validation expérimentale et applications.

Le modèle développé sera validé à la fois sur des solutions de référence et à partir de données expérimentales disponibles dans la littérature. Une piste est l'utilisation de données de mesures sur des plateformes à échelle réduite représentant un environnement urbain. Les prédictions du modèle (température, flux) seront comparées aux mesures expérimentales. Une analyse de sensibilité ou un calibrage du modèle par rapport aux paramètres incertains (albedo, coefficient de transfert surfaciques, etc) pourra être réalisé. Enfin, le modèle validé pourra être utilisé à des fins applicatives, par exemple pour étudier l'impact des choix de conception des enveloppes de bâtiment sur la réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain et sur l'amélioration du confort thermique des occupants.

Calendrier de réalisation

- étape 1 : 0 – 12mois
- étape 2 : 6 mois – 18 mois
- étape 3 : 18 mois – 30 mois
- rédaction : 30 –36 mois

Accompagnement du doctorant / Fonctionnement de la thèse *(accompagnement humain, matériel, financier, en particulier pour la prise en charge du fonctionnement de la thèse et des dépenses associées)*

Pour assurer le bon déroulement du travail de thèse, le ou la doctorant.e sera entouré.e de ses encadrants et d'une équipe de recherche constituée de doctorants et de post-doctorats et des assistants techniques ayant tous une chaîne de compétences sur la thématique du travail doctoral. De plus, le LaSIE dispose de nombreux dispositifs de caractérisation, des plateformes expérimentales utilisées pour la collecte des données utiles pour la validation des modèles et des outils numériques pour la simulation permettant au doctorant de bien entreprendre son travail de recherche dans les délais impartis. L'équipe de recherche dispose de moyens financiers (projets régionaux, nationaux et internationaux) permettant de prendre en charge toutes les dépenses de fonctionnement nécessaires (ordinateurs, mobilité entre les deux établissements) au bon déroulement de la thèse et permettant au doctorant de participer à au moins une conférence nationale et une internationale et d'entreprendre une mobilité internationale vers un laboratoire partenaire : Université Catholique de Paraná (Brésil) ou Université de Sherbrooke (Canada) ou aussi Université de L'Aquila (Italie).

Il est prévu que le doctorant passe une période de 18mois dans chaque laboratoire de recherche (LaSIE, iCube). Des réunions hebdomadaires d'encadrement scientifique seront planifiées entre les 3 personnes (doctorant.e et encadrants),