

---

## Proposition de sujet de thèse :

### **Ambiances urbaines et modélisation micro-météorologique avancée : Couplage radiatif et analyse des effets des interactions rayonnement / atmosphère sur les microclimats urbains**

*Mots clefs* : Micro-météorologie urbaine, Ambiances thermo-aérauliques, Mécanique des fluides numérique, Transferts radiatifs, Méthode de Boltzmann sur gaz réseau

---

#### *Equipe encadrante :*

- *Frédéric André - Chargé de recherche HDR CETHIL / CNRS*  
*Modélisation des transferts radiatifs pour l'atmosphérique, transferts couplés*
- *Lucie Merlier - Maître de conférences CETHIL / UCB Lyon 1*  
*Thermo-aéraulique du bâtiment et de son environnement, Mécanique des fluides, Urbanisme et aménagement*
- *Mathieu Galtier - Maître de conférences CETHIL / INSA de Lyon*  
*Modélisation des transferts radiatifs, Méthodes statistiques*

#### *Localisation :*

*Centre d'énergétique et de thermique de Lyon, Campus de la Doua, INSA de Lyon, 69100 Villeurbanne*  
( <http://cethil.insa-lyon.fr/> )

---

## Sujet de la thèse :

### *Contexte :*

Dans les contextes de changement climatique et de densification urbaine, la problématique de la surchauffe urbaine (résultant de la conjonction entre vague de chaleur et effet d'îlot de chaleur urbain) s'impose comme un enjeu essentiel pour le développement urbain contemporain, avec des conséquences sociales, sanitaires et économiques, mais également environnementales et énergétiques majeures. Cependant, les conditions micro-météorologiques urbaines sont très variables dans le temps et l'espace. Elles résultent d'interactions multi-physiques (rayonnement, thermique, aéraulique, transferts latents) et multi-échelles (des petites échelles de la turbulence aérodynamique à celle de la vague de chaleur) complexes, se développant au sein d'un système urbain lui-même très complexe du fait de son caractère ouvert, de sa géométrie, de ses caractéristiques matérielles et de son caractère habité. Ces interactions expliquent notamment l'importance de l'effet d'îlot de chaleur urbain en été, qui résulte de la conjonction entre :

- des facteurs morphologiques : la géométrie tridimensionnelle des villes forme des obstacles au vent et piège le rayonnement venant du soleil ou des surfaces chauffées en son sein
- des facteurs matériels et surfaciques : les matériaux minéraux utilisés pour le génie civil absorbent et stockent la chaleur et ont un faible potentiel d'évapo(transpi)ration
- des facteurs anthropiques : les activités humaines et les différents systèmes techniques actifs utilisés forment généralement des sources de chaleur supplémentaires.

S'attaquer au problème de la surchauffe urbaine nécessite donc de développer les connaissances sur le système micro-météorologique urbain avec un double objectif de diagnostic et de conception de solutions de

rafraîchissement adaptées. Pour ce faire, différentes approches complémentaires peuvent être mises en place. Il s'agit notamment d'approches expérimentales basées sur des mesures, des enquêtes de terrain, ou de la modélisation / simulation numérique. Bien que se basant nécessairement sur des hypothèses physiques mathématiques et numériques, la dernière approche présente l'avantage de permettre la réalisation d'études objectives, tridimensionnelles, paramétriques et plus ou moins détaillées pour évaluer l'effet de différents modes de transferts de chaleur en milieu urbain dans leur dépendance à la structure urbaine et aux conditions météorologiques et atmosphériques à plus large échelle.

#### *Problématique scientifique et objectifs :*

Les modèles numériques permettant aujourd'hui d'étudier les microclimats urbains reposent généralement sur des descriptions (très) simplifiées de la structure urbaine et/ou des phénomènes physiques. Ceci s'explique notamment par la complexité des processus couplés, dont la simulation détaillée nécessite des ressources de calcul considérables, lourdes à mettre en place même dans un cadre académique. Même si elles sont en pratique nécessaires, ces simplifications, peuvent avoir un impact significatif sur la représentativité physique des résultats des simulations, ce qui limite la qualité des prédictions, l'incertitude n'étant souvent pas connue. Ces simplifications peuvent aussi rendre délicate la compréhension des phénomènes et donc la capacité à extraire des informations utiles des résultats et à proposer des solutions pertinentes, surtout à petite échelle. De plus, la validation des modèles est souvent problématique compte tenu de la difficulté à produire des données de référence fiables, pertinentes et adaptées en termes de représentativité et de complexité physique.

Pour apporter des éléments de réponse à cette problématique, des techniques innovantes émergent, notamment pour l'étude détaillée, mais numériquement efficace, des écoulements d'air en milieu urbain (simulation aux grandes échelles basées sur la méthode de Boltzmann sur gaz réseau – LBM-LES). Ces méthodes, permettant de résoudre les échelles les plus importantes de la turbulence en géométrie complexe, et validées par rapport à des mesures expérimentales à haute résolution, sont issues du domaine de l'aéronautique et ont été adaptées pour des problématiques urbaines. Les premières études ont montré l'intérêt de développer ce type d'approche détaillée pour mettre en évidence les différents mécanismes qui contribuent à définir les ambiances urbaines, notamment pour des applications au confort au vent des piétons et à la dispersion de polluants. Ainsi, complémentaires aux aspects aérauliques, **ce projet de thèse vise à développer un modèle de transfert par rayonnement thermique couplé au modèle de dynamique des fluides et adapté pour l'analyse de processus physiques se développant en milieu urbain, afin d'étudier de façon précise les problématiques liées à la micro-météorologie urbaine.**

Le modèle de transfert radiatif envisagé repose sur la mise en œuvre du même solveur LBM pour traiter, au sein d'un code unique, l'aérodynamique et le transfert radiatif. En effet, l'utilisation de la LBM dans un contexte radiatif est formellement équivalente à appliquer la méthode des ordonnées discrètes pour le rayonnement, l'équation du transfert radiatif (ETR) étant une équation de Boltzmann pour les photons. La différence principale entre les deux formulations concerne la disparition, dans la version radiative, du terme instationnaire de l'équation de Boltzmann, le rayonnement se propageant à la vitesse de la lumière. Cet aspect du sujet (résolution de l'ETR à l'aide d'un solveur LBM) est tout à fait original et novateur, aussi bien dans la communauté radiative que dans le domaine urbain. Par ailleurs, la validation de cette approche pourra se faire par comparaison à des codes de transfert radiatif déjà existants au CETHIL et basés sur des solutions de référence de type Monte Carlo. Des campagnes de comparaisons à des données mesurées sur le territoire Lyonnais seront aussi mises en place pour évaluer la fiabilité et la pertinence de la méthodologie, voire pour en définir certaines conditions aux limites.



---

Par rapport aux modèles courants de rayonnement intégrés aux modèles micro-climatiques urbains, la méthode développée dans ce travail sera capable de traiter à haute résolution spatiale des atmosphères non transparentes (prise en compte de l'absorption du rayonnement par les gaz et aérosols), ainsi que des propriétés de surfaces non uniformes (réflexions spéculaires des vitrages par exemple). Elle permettra donc une meilleure estimation de la distribution des flux radiatifs et donc des bilans énergétiques. Outre une meilleure représentativité physique des conditions d'ambiance, ce modèle urbain permettra par ailleurs de développer des transversalités avec d'autres enjeux urbains comme la qualité de l'air (prise en compte des interactions rayonnement / polluants atmosphériques) ou la biodiversité (liens entre apports solaires, écosystèmes et photosynthèse) par exemple, et de mieux appréhender l'exposition des citoyens à la chaleur en fonction des propriétés de leur environnement urbain proche.

Le modèle micro-météorologique couplé fera ainsi le lien entre science fondamentale, ingénierie et urbanisme, en proposant une approche détaillée visant à mieux comprendre l'impact des différents modes de transferts de chaleur en milieu urbain ainsi que leurs couplages - phénomènes conditionnant le comportement énergétique des bâtiments ainsi que le confort et la santé des usagers de la ville - sur différents enjeux urbains. Il pourra servir ensuite de référence pour le développement de modèles plus simplifiés, utilisables dans un contexte opérationnel, notamment pour la définition de solutions architecturales, urbaines ou techniques de rafraîchissement urbain.

#### *Collaborations :*

Ces travaux seront réalisés en étroite collaboration avec le laboratoire M2P2 UMR 7340 de Marseille, et plus particulièrement avec l'équipe de P. Sagaut développant le logiciel LBM LES utilisé. Initiée depuis plusieurs années, cette collaboration entre le CETHIL et le M2P2 mutualise des compétences de haut niveau en modélisation numérique des écoulements turbulents complexes, initialement appliquées pour des problématiques aéronautiques et automobiles, en génie civil/physique du bâtiment et en architecture et urbanisme. Les travaux envisagés dans ce projet permettront de renforcer les activités scientifiques mais également les retombées opérationnelles grâce à l'intégration de nouvelles compétences spécialisées en rayonnement thermique.

Sur le plan international, ce projet pourra également bénéficier des partenariats déjà mis en place au CETHIL avec l'université Brigham Young (BYU, Utah, USA), avec laquelle le laboratoire collabore sur des sujets proches (modélisation des propriétés radiatives d'atmosphères gazeuses, plus ciblé hautes températures et combustion) depuis 2015. Des travaux récents menés au laboratoire dans le cadre de projets du Programme National pour la Télédétection Spatiale (PNTS) ont montré la possibilité d'étendre les modèles de type « combustion » à des atmosphères froides, comme celles rencontrées dans le domaine urbain. Un séjour de plusieurs mois à l'international est prévu.

---

#### **Prérequis :**

Bonne connaissance des transferts thermiques et bonnes compétences en modélisation. Bases de la physique du bâtiment, bases de mécanique des fluides

Bon niveau d'anglais et bonnes capacités de communication. Des compétences ou un intérêt assumé pour l'architecture, l'urbanisme ou les sciences humaines et sociales seront largement valorisées.



CETHIL



**INSA**  
LYON



---

*Formation souhaitée* : ingénieur ou master 2 en génie civil ou en énergétique

---

**Financement** : Thèse pouvant être financée dans le cadre de l'école urbaine de Lyon (<https://ecoleurbainedelyon.universite-lyon.fr/formation/financements-de-these-par-l-ecole-urbaine-de-lyon-29472.kjsp>)

**Durée des travaux** : 3 ans, début au 01/10/2019

**Procédure de candidature** : Transmettre par e-mail, votre CV, votre lettre de motivation, ainsi que des références à contacter à [lucie.merlier\[at\]insa-lyon.fr](mailto:lucie.merlier[at]insa-lyon.fr) **avant le 23/04/2019**