



**IMT Mines Alès**  
École Mines-Télécom

LA SCIENCE & LA CRÉATIVITÉ POUR INVENTER UN MONDE DURABLE

## DOCTORAT EN MECANIQUE DES FLUIDES, SCIENCES DE L'EAU, TRANSFERT THERMIQUE MECANIQUE DES FLUIDES

Institution	IMT Mines Alès (Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès)
Main job assignment	Centre de Recherche et d'Enseignement en Environnement et Risques (CREER)
Administrative residence	Alès (Département du Gard – Région Occitanie)
Starting date	01/10/2024

### 1. IMT et IMT Mines Alès

L'institut Mines-Télécom (IMT), grand établissement au sens du code de l'éducation, est un établissement public scientifique, culturel et professionnel (EPSCP) placé sous la tutelle principale des ministres chargés de l'industrie et du numérique. Premier groupe d'écoles d'ingénieurs en France, il fédère 11 écoles d'ingénieur publiques réparties sur le territoire national, qui forment 13 500 ingénieurs et docteurs. L'IMT emploie 4500 personnes et dispose d'un budget annuel de 400M€ dont 40% de ressources propres. L'IMT comporte 2 instituts Carnot, 35 chaires industrielles, produit annuellement 2100 publications de rang A, 60 brevets et réalise 110M€ de recherche contractuelle.

Créé en 1843, IMT Mines Alès compte à ce jour 1400 élèves (dont 250 étrangers) et 380 personnels. L'école dispose de 3 centres de recherche et d'enseignement de haut niveau scientifique et technologique, qui œuvrent dans les domaines des matériaux et du génie civil (C2MA), de l'environnement et des risques (CREER), de l'intelligence artificielle et du génie industriel et numérique (CERIS). Elle dispose de 12 plateformes technologiques et compte 1600 entreprises partenaires.

### 2. Projet de recherche

Titre : Modélisation numérique des transferts thermiques pour lutter contre les îlots de chaleur Urbains

Mots clés : simulation numérique en mécanique des fluides, îlot de chaleur urbain, étude expérimentale et numérique, végétation urbaine, régulation thermique, indice universel de climat thermique

Actuellement, le monde connaît des températures record, et les prévisions pour 2050, dans moins de 30 ans, indiquent une augmentation d'au moins 1,5°C des températures mondiales. Dans certaines villes, les températures extrêmes sont déjà une réalité, entraînant une détérioration de la qualité de vie, des déséquilibres dans les écosystèmes et des conséquences néfastes pour la santé et l'économie. Dans ce contexte, le projet de thèse proposé est une continuation d'une thèse précédente (Collaboration IMT Mines Alès / INRAe 2021-2024), qui vise à évaluer les stratégies d'irrigation de la végétation urbaine comme un outil pour améliorer l'indice de confort thermique des personnes. Ce nouveau projet se concentre sur l'échelle microclimatique du canyon urbain, et plus spécifiquement sur la combinaison d'approches numériques et expérimentales pour décrire les mécanismes d'advection, les transferts radiatifs et les échanges de chaleur et d'humidité au sein du canyon urbain. L'objectif de cette thèse est d'évaluer la capacité de la végétation à réduire les risques associés aux îlots de chaleur urbains et ainsi d'améliorer la qualité de vie de la population en s'appuyant sur l'écosystème urbain. À cette fin, nous proposons de modéliser le bilan énergétique existant

d'un assemblage substrat-végétation interagissant avec la circulation d'air environnante. L'idée est d'identifier la direction, la géométrie, la temporalité et l'importance relative des flux de chaleur (conduction, convection, rayonnement et changement de phase) à l'œuvre dans le système. La végétation, par l'évapotranspiration, l'ombrage du sol et l'isolation thermique du feuillage, modifie le bilan énergétique avec une prédominance de flux latents, qui contribuent à humidifier l'air ambiant et à atténuer les températures extrêmes. L'objectif du projet de thèse est de quantifier cet effet d'atténuation des températures urbaines, en fonction de la forme de la végétation et du régime d'approvisionnement en eau auquel elle est soumise. En fin de compte, le projet vise à développer des modèles simplifiés pour optimiser les performances de la végétation et aider à construire des villes plus vivables et durables. En plus de la production et de l'analyse de données microclimatiques et agronomiques à partir d'une structure végétalisée modèle installée dans des conditions réelles sur le site INRAe Valette à Montpellier, ce projet propose une approche de modélisation double combinant la modélisation de la croissance des plantes avec celle des phénomènes aérauliques et thermodynamiques en jeu dans l'environnement urbain. Un tel outil sera utilisé pour aider dans le processus de prise de décision en ce qui concerne le choix de la végétalisation urbaine selon diverses contraintes hydrauliques, thermiques, énergétiques et esthétiques. Ce modèle, qui fonctionnera à l'échelle du mètre, pourra ensuite être couplé avec des modèles météorologiques adaptés aux villes ou des modèles d'échange de chaleur pour les bâtiments. Les approches numériques seront basées sur le modèle Optirrig développé par INRAe G-Eau pour optimiser la gestion de l'eau d'irrigation des plantes et sur la plateforme ANSYS Fluent pour décrire la dynamique des flux et des transferts de chaleur à l'échelle du canyon urbain. De plus, ces approches numériques seront basées sur des résultats expérimentaux obtenus via la plateforme expérimentale sur le site INRAe Lavalette à Montpellier. Ce site dispose d'un modèle de rue végétalisée instrumenté avec des capteurs de température, radiatifs, météorologiques et hygrométriques.

La modélisation de l'impact du couvert végétal sur la température du microclimat canyon urbain, nécessite l'analyse des échanges thermiques et hydrauliques entre l'environnement bâti, le végétal et l'atmosphère. Pour cela, les phénomènes dominants de transfert thermique et hydrique doivent être pris en compte. Les mécanismes de premier ordre de transfert de masse et de chaleur entre les couches du système et le bilan énergétique au niveau des végétaux sont ainsi à caractériser. Le projet de thèse proposé est construit autour de 5 étapes

- (i) Identification des flux thermiques et aérauliques au sein du canyon urbain : nature et sens des flux, géométrie, temporalité et importance relative. Simplification schématique des problèmes physiques mis en jeu et description des échanges au sein de cet environnement.
- (ii) Description des interactions entre les espèces végétales et les flux associés. Sans aller dans le détail du fonctionnement physiologique des espèces (situation de confort hydrique) mais en se focalisant sur les variables hydrologiques et thermiques pertinentes et représentative de l'échelle du canyon urbain.
- (iii) Modélisation numérique des différents flux. L'étude des écoulements aérauliques et thermodynamiques dans l'espace urbain végétalisé sera réalisée avec la plateforme ANSYS Fluent qui est un logiciel de modélisation de mécanique des fluides CFD (Computational Fluid Dynamics) utilisant la méthode des volumes finis. Plusieurs scénarios seront analysés selon les conditions climatiques et les phases de croissance de la végétation. Le cas instationnaire sera modélisé afin de reproduire des cycles journaliers. Les stratégies de végétalisation et leurs impacts sur le climat urbain seront étudiés à l'aide d'approches de modélisation reposant sur différentes résolutions spatiales et temporelles à l'échelle micro. Ces simulations CFD aborderont l'étude des flux à proximité de configurations végétales spécifiques. La modélisation des échanges d'eau et de température tiendra compte de l'impact des systèmes végétalisés sur le microclimat urbain. La connexion avec les simulations à plus grande échelle reposera sur des forçages atmosphériques à macro-échelle qui seront eux-mêmes influencés dans les deux sens grâce à des simulations à micro-échelle. La question de la résolution temporelle sera abordée à la micro-échelle pour tenir compte des variations horaires, quotidiennes et saisonnières des conditions météorologiques.
- (iv) Comparaison des résultats des modèles numériques et des données expérimentales. L'INRAe et IMT Mines Alès ont développé un pilote expérimental représentatif d'un canyon urbain végétalisé

(thèse précédente). Ce dispositif est situé sur le site de Lavalette (UMR G-EAU, INRAE Montpellier) et permet de collecter les données et analyser les transferts d'eau et de chaleur et tester en conditions réelles différents scénarios de conduite des végétaux et des apports d'eau et leurs effets conjoint sur les plantes et les équilibres thermiques. Ce pilote expérimental, en fonctionnement depuis 2022, dispose de plus d'une centaine de capteurs qui enregistre toutes les minutes les données environnementales (température de l'air, hygrométrie, rayonnement solaire, vitesse du vent) ainsi que celles relatives à la croissance des plantes (teneur en eau dans le sol à différents niveaux et temps d'arrosage). Ces données expérimentales seront comparées avec les résultats du modèle numérique représentatif du pilote pour valider les approches retenues.

- (v) Développement d'un modèle physique simplifié. Sur la base des résultats numériques, il est proposé le développement d'un modèle simplifié d'aide au dimensionnement des projets de végétalisation urbaine. Ce modèle sera basé sur les données environnementales globales et de la typologie de la végétalisation et permettra d'estimer l'impact de cette végétalisation sur le confort thermique urbain en estimant des paramètres représentatifs tels que l'UTCI (Universal Thermal Climate Index) [2]

### 3. Références bibliographiques

- [1] Garcia de Cezar, M., Tomas, S., Aprin L., Cheviron B., (2023), Irrigated urban greening to mitigate urban overheating: an experimental and numerical approach at the microclimatic scale of the street canyon, "The cooling benefits of blue and green infrastructure in cities", 11th International Conference on Urban Climate, 28 Aug - 1 Sept 2023 | UNSW Sydney.
- [2] Sabrin, S., Karimi, M., Nazari., R, (2023), The cooling potential of various vegetation covers in a heat-stressed underserved community in the deep south: Birmingham, Alabama, Urban Climate 51 (2023) 101623.
- [3] Apur 2012, <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/ilots-chaleur-urbains-paris-cahier-1>

### 4. Encadrement

Cette thèse s'inscrit dans les thèmes de recherche des deux directeurs de thèse des unités de recherche suivantes :

Pr. Laurent APRIN du Laboratoire des Sciences des Risques de l'IMT Mines Alès, France (chercheur sur les approches expérimentales et numériques des phénomènes thermiques et de la mécanique des fluides). <https://www.imt-mines-ales.fr/recherche-doctorat/les-unites-de-recherche/laboratoire-sciences-risques>

Séverine TOMAS de l'équipe Optimiste de l'INRAe Montpellier, France (chercheur en modélisation expérimentale et numérique pour l'agronomie et la mécanique des fluides).

Bruno CHEVIRON de l'équipe Optimiste de l'INRAe Montpellier, France (chercheur sur les phénomènes expérimentaux et numériques pour les flux environnementaux, l'eau, les solutés et les sédiments).

Cette thèse sera associée à l'Ecole Doctorale 583 Risques et Société.

### 5. Profil recherché

Les candidats doivent être titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou d'un master recherche en physique, mécanique des fluides, sciences de l'eau, transfert thermique. Des compétences en mesures expérimentales et simulation numérique pour la mécanique des fluides et transfert de chaleur seraient appréciées

### 6. Contacts

- ▶ PhD content: Laurent APRIN ([laurent.aprin@mines-ales.fr](mailto:laurent.aprin@mines-ales.fr) / (+33) (0)466782758 / (+33) (0)779881238
- ▶ Administrative PhD aspects: Anne-Catherine Denni, [anne-catherine.denni@mines-ales.fr](mailto:anne-catherine.denni@mines-ales.fr)