

## Offre de thèse au Laboratoire de recherche en Hydrodynamique Énergétique et Environnement Atmosphérique

---

### Intitulé du projet de recherche doctoral

Modélisation multi-échelles de l'influence des arbres sur le microclimat et la dispersion de polluants en milieu urbain : de l'échelle locale au quartier.

### Contexte

Dans un contexte de réchauffement climatique et de croissance de la population urbaine, prévenir les risques sanitaires liés aux vagues de chaleur et à une forte exposition aux polluants anthropiques est un enjeu majeur. L'introduction des arbres en ville est souvent préconisée pour réguler l'îlot de chaleur urbain et améliorer le confort thermique. Des études ont cependant montré l'influence aérodynamique des arbres qui, dans certaines configurations, peuvent réduire la ventilation et la dispersion des polluants émis dans les rues. La façon dont les arbres, en modifiant les variables microclimatiques, modifient en retour la stabilité thermique de l'atmosphère, la structuration de la couche limite urbaine et, en conséquence, les échanges de masse, de quantité de mouvement et de chaleur au sommet de la canopée et dans la rue est à ce jour mal comprise.

Les stratégies d'adaptation de la ville dans un objectif de régulation du microclimat urbain et d'amélioration de la qualité de l'air extérieur doivent s'appuyer sur une compréhension fine des interactions dynamiques (vent et turbulence) et thermiques entre la canopée urbaine et la couche limite atmosphérique. Pour cela, la modélisation numérique de l'écoulement atmosphérique en milieu urbain peut être un outil adapté, mais représente encore aujourd'hui un défi scientifique important en raison du caractère multi-échelles des interactions entre les mouvements turbulents à grande échelle, caractéristiques de la couche limite atmosphérique, et les écoulements à l'intérieur de la canopée urbaine qui sont spécifiques à chaque milieu bâti. De plus, le comportement thermo-radiatif des surfaces urbaines modifie non seulement l'écoulement dans les rues et autour des bâtiments, mais également la stabilité thermique de la basse atmosphère, sa structuration et les processus de transferts turbulents avec la canopée urbaine. Il est donc particulièrement important de prendre en compte ces processus multi-échelles et multi-physiques dans la modélisation numérique du microclimat urbain et de la dispersion de polluants.

Depuis plusieurs années, l'équipe Dynamique de l'Atmosphère Urbaine et Côtière (DAUC) du LHEEA développe un modèle de couche limite atmosphérique adapté à l'étude de différentes échelles (ville, quartiers, rues) et permettant de simuler les échanges instationnaires multi-échelles qui gouvernent les processus de transfert entre la canopée urbaine et l'atmosphère. Pour l'échelle de la ville et de la couche limite atmosphérique, une approche de type porosité-traînée a été développée pour représenter, à faible coût de calcul, l'influence de la morphologie des quartiers sur l'écoulement de couche limite atmosphérique (Maché, 2012 ; Tavares et al. 2015 ; Bucquet et al., 2023). Pour l'échelle du quartier et de la sous-couche rugueuse, une approche de type IBM (Immersed Boundary Method) a été implémentée pour simuler de façon plus détaillée les écoulements autour des bâtiments. L'utilisation conjointe de l'approche porosité-traînée sur des domaines étendus et de l'approche IBM à l'échelle d'un quartier permet de rendre compte des interactions dynamiques multi-échelles qui gouvernent les échanges entre la canopée urbaine et l'atmosphère. Cette approche couplée a été testée avec succès dans la configuration d'une canopée de cubes (sans arbre), en condition atmosphérique neutre (Bucquet, 2023). Dans la continuité des travaux précédents, nous envisageons à présent d'étendre les capacités du modèle atmosphérique par la prise en compte des interactions multiprocessus (rayonnement, transferts de chaleur et d'humidité, turbulence, etc.) entre l'atmosphère, les arbres et l'environnement bâti.

Le projet ANR CITRY (2024-2027) (Contribution des arbres au microclimat urbain et à la dispersion des polluants de l'échelle locale à la ville), dans lequel s'inscrit le projet de recherche doctoral, ambitionne d'évaluer l'influence multi-échelles des arbres en ville, allant de la rue à la ville entière, sur le

microclimat urbain et la dispersion de polluants, en tenant compte des variations de stabilité thermique atmosphérique. Le projet de recherche doctoral proposé au [LHEEA](#) (Nantes, France) s'intéresse aux échelles allant de la rue au quartier, tandis qu'une autre thèse à l'UMR ISPA de l'[INRAE](#) (Bordeaux, France) se penchera sur les échelles allant de la ville au quartier. Une forte interaction entre ces deux thèses est attendue afin de couvrir au final le continuum d'échelles allant de la rue à la ville.

## **Description du projet de recherche doctoral**

L'objectif de la thèse est d'étudier l'impact des arbres sur la micro-météorologie urbaine et la dispersion de polluants particulaires, depuis l'échelle du quartier à celle de la rue et dans différentes conditions de stabilité atmosphérique. Pour atteindre cet objectif, plusieurs phases sont envisagées.

Tout d'abord, une revue bibliographique sera réalisée afin (1) de dresser un état de l'art de la recherche sur « les arbres en ville », (2) de comprendre la physique de la couche limite urbaine et des interactions multi-échelles et multiprocessus et (3) d'identifier les modèles de transfert thermo-radiatif pertinents pour rendre compte des échanges thermiques entre les surfaces bâties et l'atmosphère, et de l'influence des arbres sur ces échanges à l'échelle locale.

Dans un second temps, le modèle de couche limite atmosphérique dans sa version IBM sera adapté pour les objectifs visés. Il s'agira en particulier (1) d'implémenter un modèle de transferts thermo-radiatif entre l'atmosphère et les surfaces artificielles, avec prise en compte de la présence d'arbres sur le rayonnement, (2) d'intégrer un modèle simplifié de fonctionnement des arbres, représentés par une zone poreuse, pour simuler les flux d'évapotranspiration, (3) d'adapter le modèle de dispersion des particules à l'approche IBM. Chacun de ces développements sera évalué dans des configurations urbaines simplifiées ou en référence à des mesures en site réel déjà réalisées dans la ville de Nantes (Rodrigues, 2015 ; Connan et al., 2015).

La troisième phase du projet de thèse consistera à mettre en place et réaliser des simulations numériques pour différentes situations météorologiques et conditions de stabilité thermique observées pendant la campagne expérimentale prévue au début du projet CITRY. Grâce au couplage entre l'échelle du quartier et l'échelle locale, ces simulations permettront de qualifier, en situation réaliste, le modèle développé pour l'échelle locale, d'analyser les processus d'échanges au sommet de la canopée urbaine, de comprendre le rôle joué par les arbres sur la variabilité des champs micro-météorologiques et les processus de ventilation dans la rue, et enfin d'investiguer différents scénarios de végétalisation urbaine.

### *Références bibliographiques*

Bucquet Q. (2023) Vers une approche intégrée de modélisation multi-échelles de l'écoulement atmosphérique en milieu urbain, Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes.

Bucquet Q., Calmet I., Perret L., Maché M. (2023) Large-eddy simulation of the urban boundary layer using drag-porosity modelling, *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* **238**, 105432.

Connan O., Laguionie P., Maro D., Hébert D., Mestayer P.G., Rodrigues F., Rodrigues V., Rosant J-M. (2015) Vertical and horizontal concentration profiles from a tracer experiment in a heterogeneous urban area, *Atmospheric Research* 154:126-137.

Maché M. (2012) Représentation multi-échelle des transferts entre couche de canopée urbaine et atmosphère à l'échelle de la ville, Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes.

Rodrigues V. (2015) Evaluation des zones de footprint en site hétérogène par simulation des grandes échelles des écoulements turbulents et de la dispersion des traceurs passifs dans et au-dessus de la canopée urbaine, Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes.

Tavares R., Calmet I., Dupont S. (2015) Modelling the impact of green infrastructures on local microclimate within an idealized homogeneous urban canopy, 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Climate/12<sup>th</sup> Symposium on the Urban Environment, 20-24 July 2015, Toulouse (France).

**Mots Clés :** Couche limite urbaine ; Canopée urbaine ; Végétation urbaine ; Simulation des grandes échelles ; Méthode de frontières immergées ; Dispersion de polluants ; Transferts radiatifs et thermiques .

### **Profil recherché**

- Master ou Ingénieur dans l'un des domaines : Mécanique des Fluides, Sciences de l'Atmosphère, Mathématiques Appliquées.
- Connaissances souhaitées dans plusieurs des domaines suivants : Mécanique des fluides théorique, Mécanique des fluides numérique, Sciences de l'atmosphère, Turbulence, Transferts thermiques, Analyse numérique, Programmation.
- Excellentes capacités de rédaction ; maîtrise écrite et orale de l'anglais.
- Qualités personnelles : Rigueur et organisation ; esprit d'initiative et créativité ; motivation pour la recherche ; goût pour le travail collaboratif et les activités de médiation scientifique.

### **Encadrement et conditions pratiques**

Le projet de recherche doctoral sera réalisé sous la direction d'Isabelle Calmet (Professeure à l'Ecole Centrale de Nantes) en collaboration avec Sylvain Dupont (Directeur de Recherche INRAE). Il se déroulera à l'Ecole Centrale de Nantes (France), dans l'équipe Dynamique de l'Atmosphère Urbaine et Côtière (DAUC) du Laboratoire de recherche en Hydrodynamique, Energétique et Environnement Atmosphérique (LHEEA).

Le financement de la thèse est entièrement acquis pour une durée de 3 ans, avec un démarrage souhaité à l'**automne 2024**.

### **Renseignements et candidature**

Tout(e) étudiant(e) en dernière année de formation Master ou Ingénieur, ou diplômé(e), intéressé(e) par le projet de thèse est invité(e) à envoyer son CV (avec contact d'enseignants référents), une lettre de motivation, ainsi que ses relevés de notes disponibles (niveau L3, M1 et M2) à [Isabelle Calmet](mailto:isabelle.calmet@ec-nantes.fr).

Adresse mail pour candidater : [isabelle.calmet\(at\)ec-nantes.fr](mailto:isabelle.calmet@ec-nantes.fr)

Objet : Candidature thèse - LHEEA - ANR CITRY