

## Présentation du projet de thèse

# Étude des échanges d'eau et de carbone des enveloppes végétales des bâtiments par l'observation et la modélisation

### Contexte

Au cœur du programme d'actions voté en 2019 par la Mairie de Toulouse pour lutter contre le changement climatique se trouve Le PLAN 100 000 arbres (<https://www.toulouse.fr/web/environnement/plan-100-000-arbres>). Il vise à planter 100 000 arbres entre 2020 et 2030, mais pas seulement : l'objectif est de « développer et équilibrer la couverture végétale sur l'ensemble de la ville », y compris dans les zones les plus urbanisées.

Pour ces zones qui sont souvent à fort enjeu de régulation thermique mais où l'espace disponible au sol est en général très limité, une solution complémentaire ou alternative serait une végétalisation innovante mettant en œuvre des toits et façades végétalisés optimisés par de l'arrosage intelligent. A leur échelle (bâtiment) et intégrées aux trames vertes et bleues, ces enveloppes végétales seraient susceptibles de rendre plusieurs services aux collectivités, notamment régulation du microclimat et de l'eau, mais aussi séquestration du carbone de l'atmosphère.

Dans certains pays européens, la végétalisation des bâtiments est en constante augmentation, comme en Allemagne avec 800 ha/an de nouvelles toitures végétalisées. En France, son déploiement est peu répandu, probablement car sa mise en œuvre complexe et ses besoins en eau suspectés d'être élevés ne font pas le poids face à des services de régulation encore méconnus. Le manque de mesures et de modèles pour décrire tous les échanges qui s'opèrent au sein et à la surface des enveloppes végétales sont soit rares soit incomplets. Ce sont à ces verrous que ce projet de recherche vise à s'atteler.

### Objectifs scientifiques

Les objectifs scientifiques de la thèse visent à répondre à ces enjeux liés aux enveloppes végétales des bâtiments pour quantifier leur potentiel de régulation du microclimat urbain, de la ressource en eau et de la séquestration de carbone. Deux objectifs seront successivement abordés pendant la thèse :

#### 1) Modéliser les échanges enveloppes végétales-atmosphère à l'échelle du bâtiment :

Il s'agit de comprendre et de modéliser les processus radiatifs, énergétiques, thermiques et les bilans d'eau et de carbone des toitures et façades végétales des bâtiments. Il sera important de penser l'adéquation entre typologie de bâti et type d'enveloppe végétale.

#### 2) Simuler numériquement les impacts des enveloppes végétales sur la régulation climatique et la séquestration de carbone à l'échelle urbaine

Il s'agit de prédire par la modélisation quels seraient, à l'échelle d'une ville, l'apport d'une végétalisation innovante (végétalisation des bâtiments avec irrigation optimisée) en termes de régulation climatique et de séquestration de carbone, sous des conditions géographiques et donc météorologiques variées.

### Méthodologie

#### 1) Modéliser les échanges enveloppes végétales-atmosphère à l'échelle du bâtiment

La thèse propose d'aborder cet objectif par deux approches complémentaires : l'analyse d'observations pour comprendre les processus physiques, puis leur modélisation dans le modèle de climat urbain du CNRM :

a. On s'appuiera sur des sites de recherche expérimentaux existants et géographiquement différents pour étudier le comportement des enveloppes végétales sous des conditions météorologiques les plus variées possible. Notamment, un ensemble unique et complet de mesures relevées depuis 5 ans sur une très grande toiture végétalisée à Berlin sera analysé pour étudier la variation temporelle (année, saison, jour) des flux d'eau et de carbone.

b. Les processus physiques gouvernant les échanges des enveloppes avec l'atmosphère seront améliorés et d'autres développés dans le modèle de climat urbain, qui est déjà bien avancé pour la modélisation des toitures végétales. Le paramétrage du modèle sera optimisé grâce à la mesure in-situ des propriétés végétales des enveloppes (couverture végétale, indice foliaire, résistance stomatique, taux d'assimilation).

c. La sensibilité des flux de carbone aux conditions d'humidité (périodes humides, sèches et chaudes) et au potentiel d'irrigation sera évaluée, pour une meilleure compréhension de la dépendance de la séquestration de carbone à la ressource en eau.

## 2) Simuler numériquement les impacts des enveloppes végétales sur la régulation climatique et la séquestration de carbone à l'échelle urbaine

Il s'agira d'explorer les impacts spatiaux-temporels de la végétalisation des bâtiments sur la régulation climatique et la séquestration de carbone, en mettant en scène, si possible sur plusieurs territoires, des scénarios qui soient réalistes en termes :

- d'implantation dans le tissu urbain (typologie de bâti),
- de combinaison à des pratiques de végétalisation classiques,
- de pratiques d'irrigation.

La ville de Toulouse pour laquelle nous disposons de données urbaines fines et de données météorologiques pour évaluer le modèle est envisagé comme un des cas d'étude.

### **Coordonnées des responsables de thèses**

Aude Lemonsu (HDR) [aude.lemonsu@meteo.fr](mailto:aude.lemonsu@meteo.fr), 05 61 07 97 52

Cécile De Munck [cecile.demunck@meteo.fr](mailto:cecile.demunck@meteo.fr)

### **Laboratoire d'accueil**

Centre National de Recherches Météorologiques (UMR 3589) - Météo-France/CNRS