



---

# GreenStorm

Design and deployment of stormwater nature based solutions for resilient and liveable cities

---



Jérémie Sage (Cerema), Marie-Christine Gromaire (ENPC, Leesu)

# Contexte



## La gestion des eaux pluviales aujourd'hui:



Assurer les objectifs de:

- maîtrise du ruissellement
- réduction des impacts sur le milieu

Tout en intégrant d'autres enjeux

- recharge en eau du sol / sous-sol
- nature en ville
- rafraîchissement local
- aménités paysagères

### Quelques principes:

Gérer l'eau localement

« Renaturer » le cycle de l'eau urbain (grâce aux solutions fondées sur la nature)

Penser l'eau comme une ressource plutôt qu'un « déchet »

# Contexte



Exemples de « solutions fondées sur la nature pour la gestion des eaux pluviales urbaines » (SFN<sub>EP</sub>):



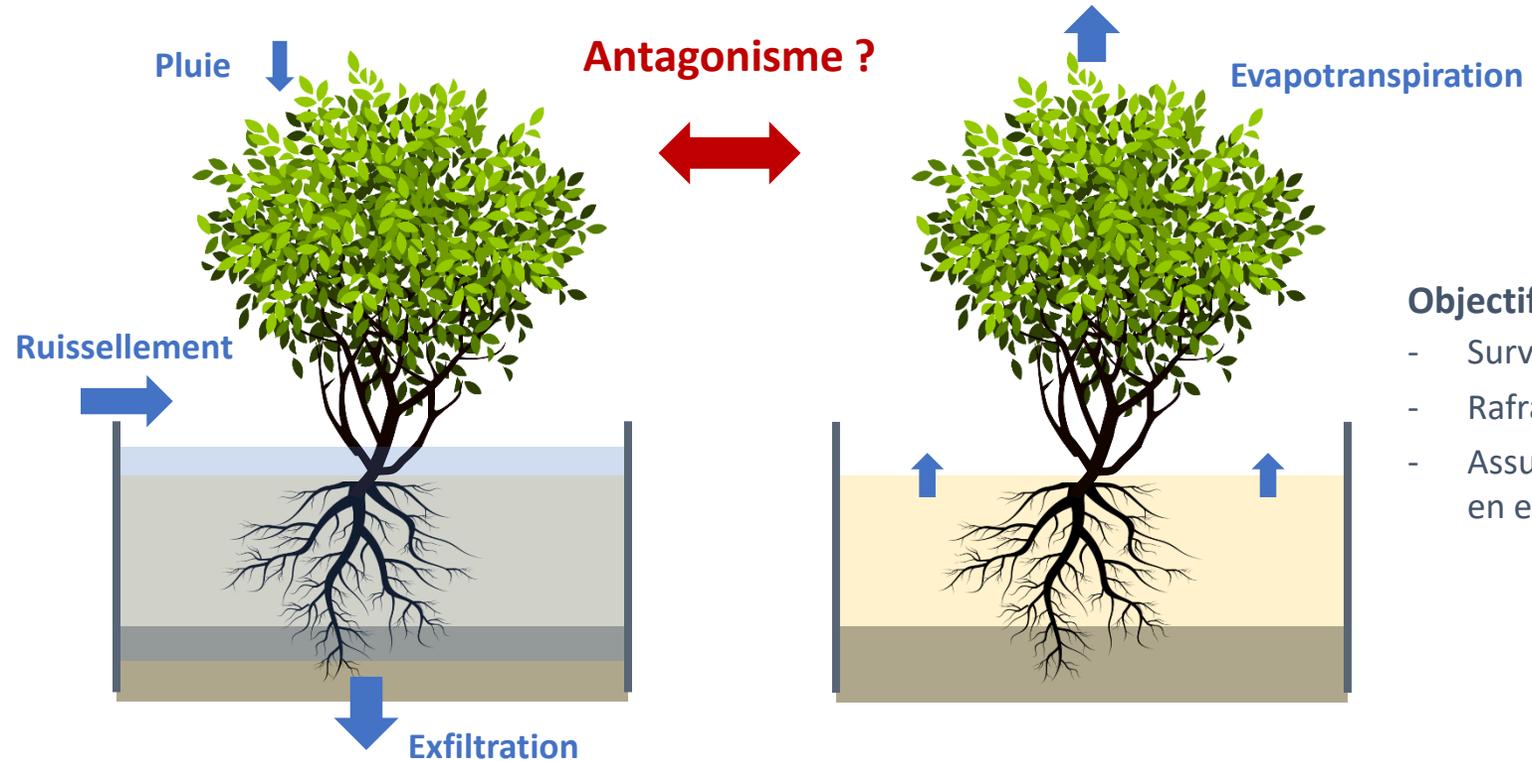
# Difficultés identifiées



Incertitudes sur les performances et la résilience des SFN<sub>EP</sub> pour les extrêmes climatiques (canicules, sécheresses...), en particulier sous climat futur

## Objectifs:

- Stocker les volumes d'eau reçus
- Evacuer sans rejet au réseau (infiltration et évapotranspiration)
- Récupérer la capacité de stockage



*Pendant et immédiatement après la pluie*

*En cas de vague de chaleur ou sécheresse*

## Objectifs:

- Survie de la végétation
- Rafraîchissement
- Assurer la disponibilité en eau

# Difficultés identifiées



## Un déficit d'implémentation malgré les bénéfices potentiels

Illustration de quelques problématiques à partir d'un cas concret:

### Pour l'utilisateur

Mauvaise compréhension  
et perception de  
l'aménagement

Perte d'espace pour le  
stationnement

### Pour la collectivité

Diversité d'intervenants  
pour la gestion et l'entretien  
(nécessité d'anticiper)

Service en charge des arbres

Service propreté

Service eau et assainissement

Service voirie



(bien sûr, non-exhaustif !)

# Objectifs

---



1. Mieux comprendre le **fonctionnement SFN<sub>EP</sub> pour les extrêmes climatiques actuels et futurs**, en considérant une diversité de climats européens et de types de dispositifs (toitures végétalisées, jardins ou arbres de pluie, noues...)
2. Faire dialoguer et accompagner les parties prenantes pour **développer des conceptions innovantes des SFN<sub>EP</sub>**, à la fois performantes et résilientes face aux futurs extrêmes climatiques, mais aussi acceptables pour les services techniques et les riverains
3. Identifier des leviers pour un **déploiement à l'échelle de la ville des SFN<sub>EP</sub>** et évaluer les bénéfices associés (d'abord hydrologiques mais aussi thermiques) pour les conditions climatiques actuelles et futures

# Consortium



**14 partenaires de 5 pays européens:** Danemark, France, Grèce, Italie et Suède → Variété de contextes climatiques et socio-techniques



**7 partenaires académiques:** diversité disciplines (hydrologie, écophysiologie, géographie humaine, micro-climatologie...) et d'approches (suivi expérimental, modélisation, enquêtes de terrain...)



**6 collectivités et une PME:** ancrage opérationnel; des cas d'étude comme « démonstrateurs » ; transfert facilité des résultats

# Structure du projet et avancement



## WP1. Jeux de données d'extrêmes climatiques sous climat actuel et futur

### WP2. Observation et modélisation à l'échelle locale des SFN<sub>EP</sub>

WP2a. Constitution d'une base de données d'observations pour une variété de SFN<sub>EP</sub>

WP2b. Observation pour des conditions extrêmes simulées sous chambre climatique

WP2c. Développement et évaluation d'un cadre de modélisation hydrologique et microclimatique

### WP3. Conception de SFN<sub>EP</sub> mieux acceptées et plus résilientes

WP3a. Ateliers de cocréation impliquant les chercheurs, les services techniques des collectivités, des résidents

WP3b. Modélisation hydrologique et microclimatique de conceptions "améliorées" des SFN<sub>EP</sub>

### WP4. Déploiement des SFN<sub>EP</sub>: de l'échelle locale à celle de la ville

WP4a. Démonstration de mise en œuvre sur un quartier pilote à Copenhague

WP4b. Identification de leviers, structures de gouvernance et outils pour un déploiement des SFN<sub>EP</sub> à plus grande échelle

### WP5. Modélisation des bénéfices d'un déploiement à l'échelle de la ville

WP5a. Collecte de données et modélisation des scénarios de référence ("état actuel")

WP5b. Construction des scénarios de déploiement

WP5c. Modélisations hydro-climatiques

WP5d. Modélisations à base cartographique

# Structure du projet et avancement



## WP1. Jeux de données d'extrêmes climatiques sous climat actuel et futur

### WP2. Observation et modélisation à l'échelle locale des SFN<sub>EP</sub>

WP2a. Constitution d'une base de données d'observations pour une variété de SFN<sub>EP</sub>

WP2b. Observation pour des conditions extrêmes simulées sous chambre climatique

WP2c. Développement et évaluation d'un cadre de modélisation hydrologique et microclimatique

### WP3. Conception de SFN<sub>EP</sub> mieux acceptées et plus résilientes

WP3a. Ateliers de cocréation impliquant les chercheurs, les services

techniques des  
co-acteurs  
résidents

WP3b. Modélisation hydrologique et microclimatique de conceptions "améliorées" des SFN<sub>EP</sub>

### WP4. Déploiement des SFN<sub>EP</sub>: de l'échelle locale à celle de la ville

WP4a. Démonstration de mise en œuvre sur

un quartier pilote à

WP4b. Identification de leviers, structures de gouvernance et outils pour un déploiement des SFN<sub>EP</sub> à plus grande échelle

### WP5. Modélisation des bénéfices d'un déploiement à l'échelle de la ville

WP5a. Collecte de données et modélisation des scénarios de référence ("état actuel")

WP5b. Construction des scénarios de déploiement

WP5c. Modélisations hydro-climatiques

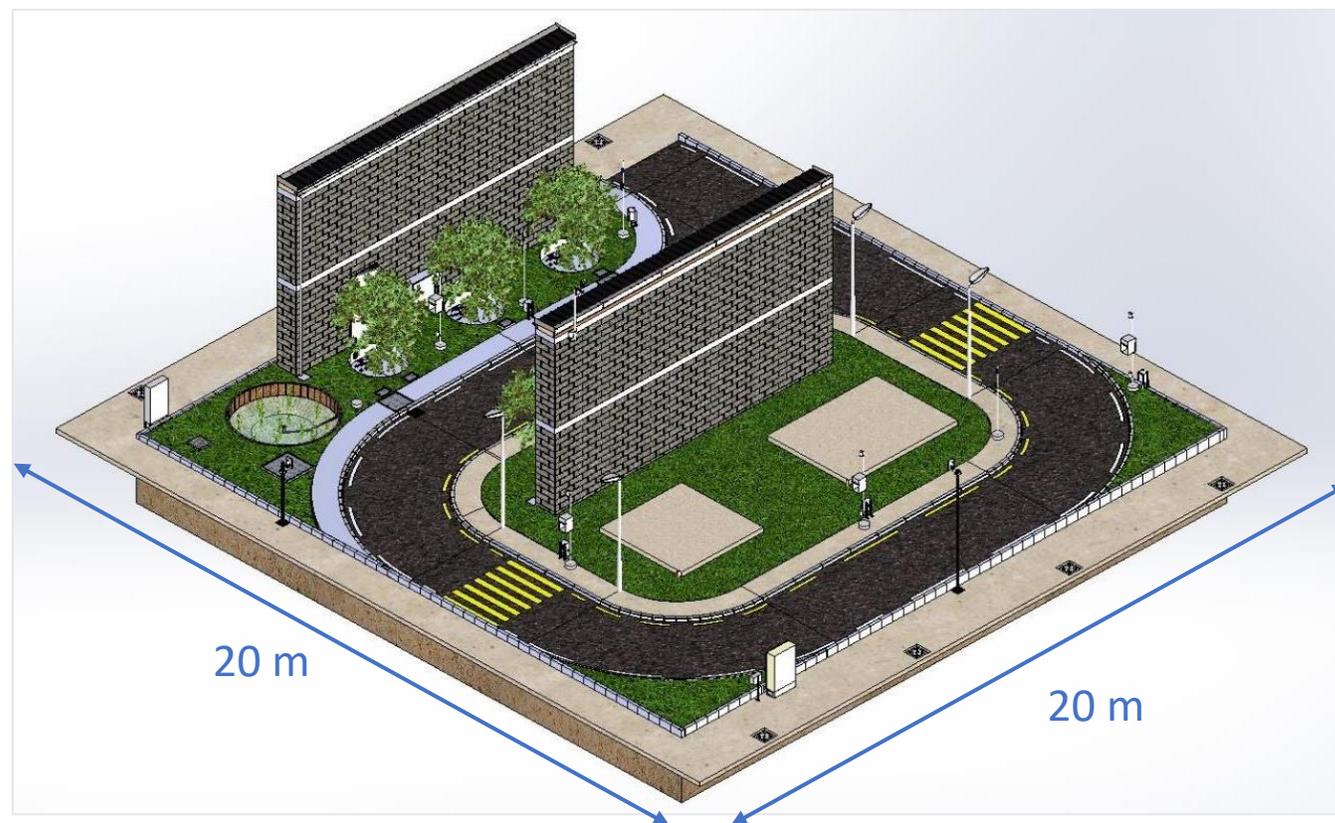
WP5d. Modélisations à base cartographique

**Focus sur ces travaux dans la suite de la présentation**

# Expérimentation sous chambre climatique



## Le dispositif de Sense City à Champs-sur-Marne



- Deux « mini-villes » expérimentales, dont une intégrant des SFN<sub>EP</sub>
- Une chambre climatique mobile positionnable au dessus de chaque mini-ville (→ différentes conditions de température, humidité...)

# Expérimentation sous chambre climatique



## Le dispositif de Sense City à Champs-sur-Marne



- Deux dispositifs étudiés : des « arbres de pluie » et un « jardin de pluie »
- Suivi en continu à pas de temps fin des débits entrants, teneurs en eau du sol, flux de sève pour les arbres...

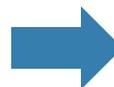


# Expérimentation sous chambre climatique



## Objectifs

- Suivi de la réponse physiologique de la végétation à un stress thermique
- Lien entre forçage climatique, stress de la végétation et fonctionnement hydrologique (évapotranspiration) des dispositifs étudiés
- *Analyse critique de la représentativité des conditions simulées (applicabilité de Sense City)*



## Démarche

Simulation de conditions « extrêmes »

×

Mesures écophysiologicals à l'échelle de la feuille (conductance stomatique, transpiration, pigments marqueurs de stress...)

×

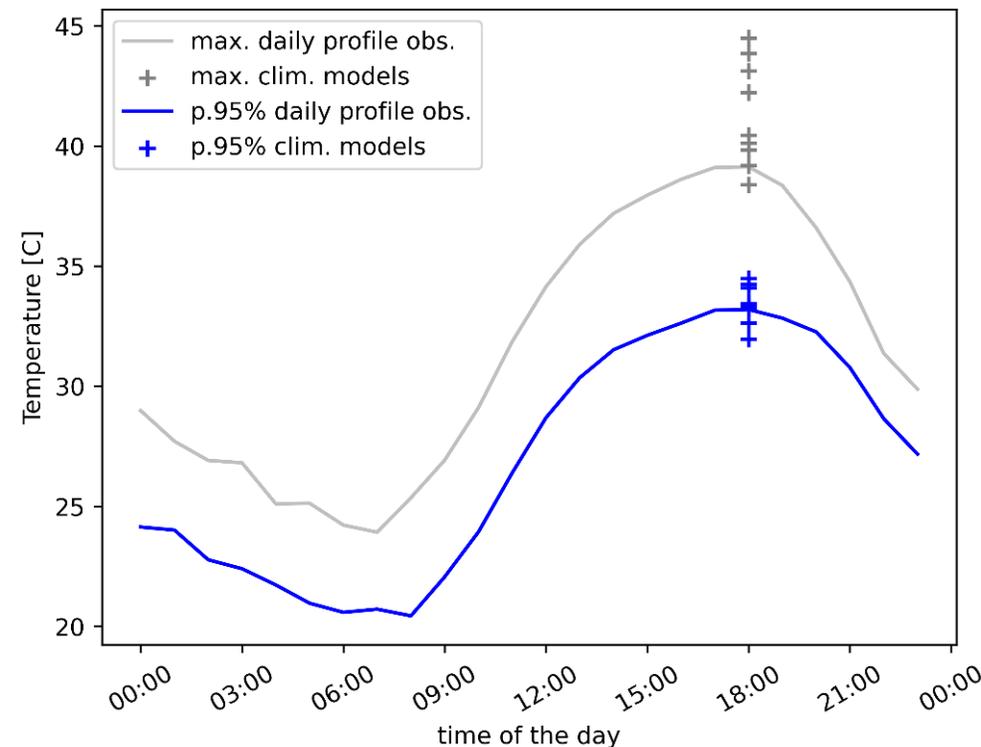
Données hydrologiques (flux de sève, diminution des teneurs en eau dans les sol des ouvrages)

# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique

- Sur la base des données observées localement et des projections climatique DRIAS 2030-2050 (RCP 8.5)...
- ...et des contraintes de la chambre (mobilisation pour 12 j max en 2024, limites techniques)



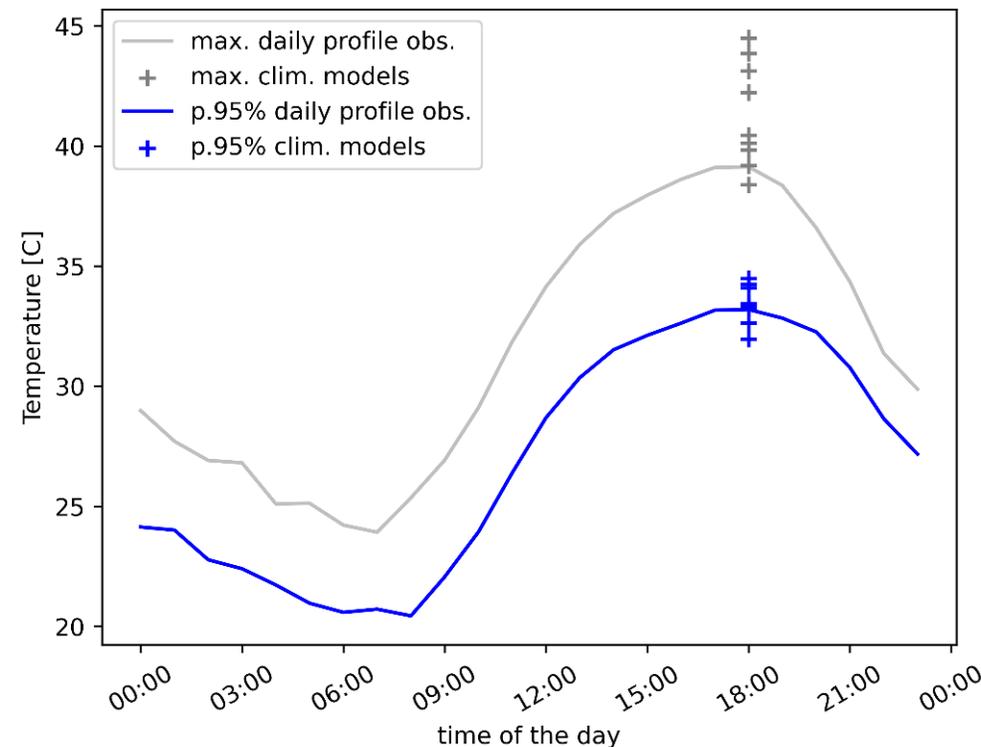
*Profil de température observé à Champs-sur-Marne (2022-2023) et max. journaliers de température (+) d'après les projections climatiques pour la période juillet-aout*

# Expérimentation sous chambre climatique

## Définition du scénario climatique

- Sur la base des données observées localement et des projections climatique DRIAS 2030-2050 (RCP 8.5)...
- ...et des contraintes de la chambre (mobilisation pour 12 j max en 2024, limites techniques)

Des températures maximales observées en 2022-2023 assez déjà proches des maximums issus des modèles



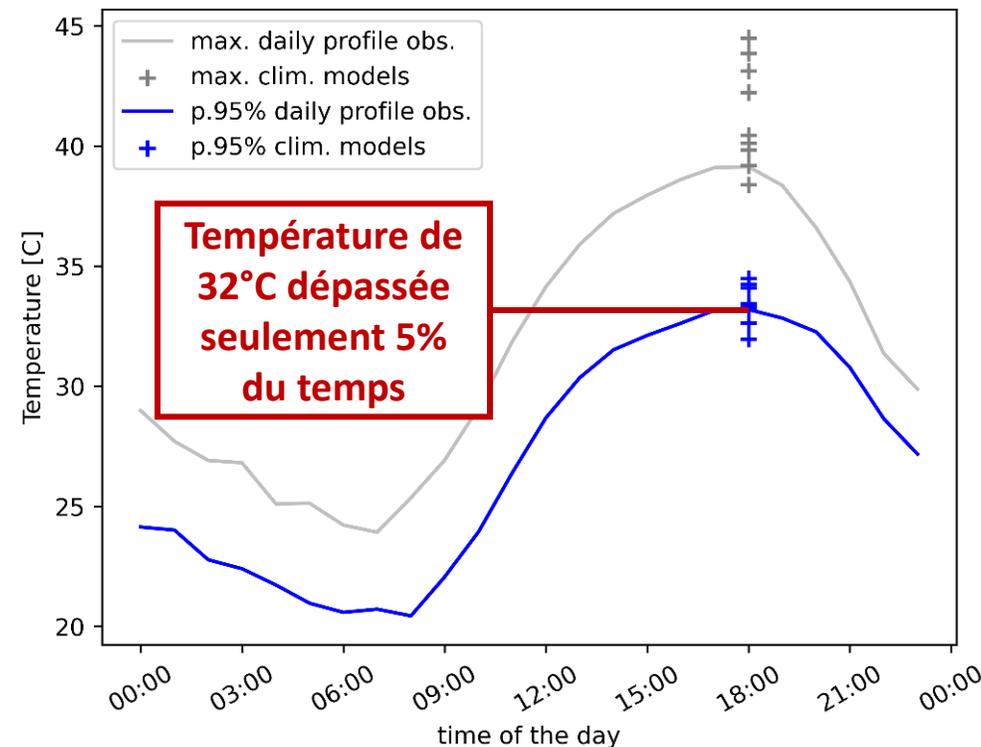
Profil de température observé à Champs-sur-Marne (2022-2023) et max. journaliers de température (+) d'après les projections climatiques pour la période juillet-aout

# Expérimentation sous chambre climatique

## Définition du scénario climatique

- Sur la base des données observées localement et des projections climatique DRIAS 2030-2050 (RCP 8.5)...
- ...et des contraintes de la chambre (mobilisation pour 12 j max en 2024, limites techniques)

Des températures maximales observées en 2022-2023 assez déjà proches des maximums issus des modèles

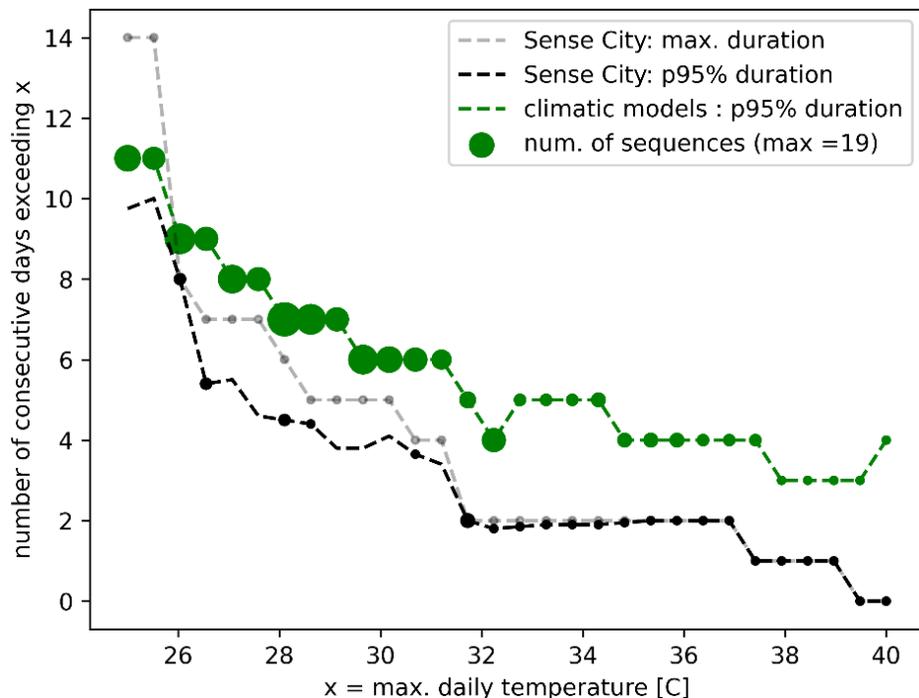


Profil de température observé à Champs-sur-Marne (2022-2023) et max. journaliers de température (+) d'après les projections climatiques pour la période juillet-aout

# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique

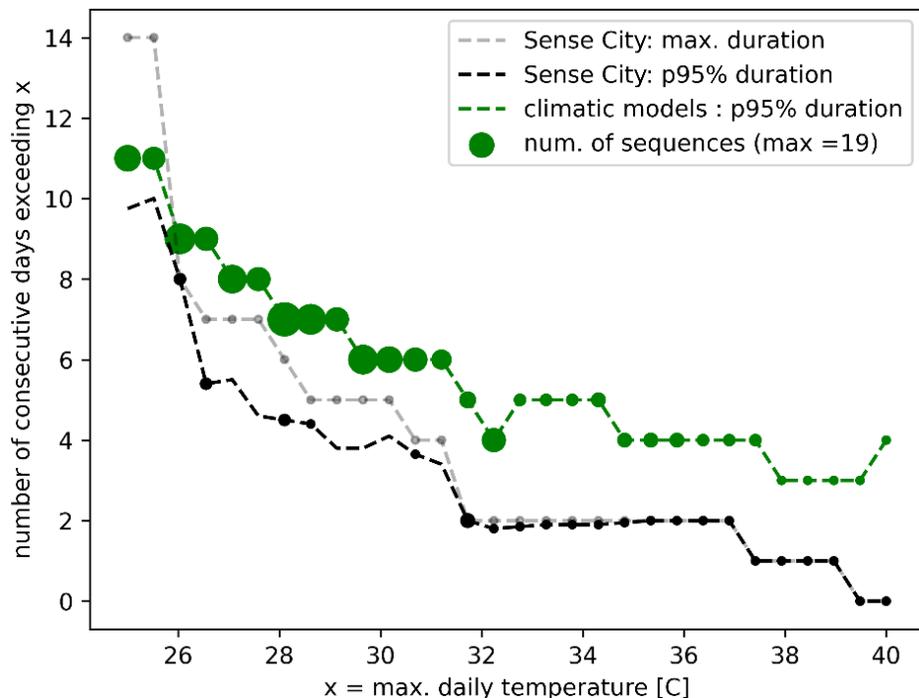


Nombre de jours consécutifs avec une  $T^{\circ}$  max. supérieure à un seuil (x). En noir: durée max. observée (2022-2023); en vert: 95 centile des durées sous climat futur

# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique



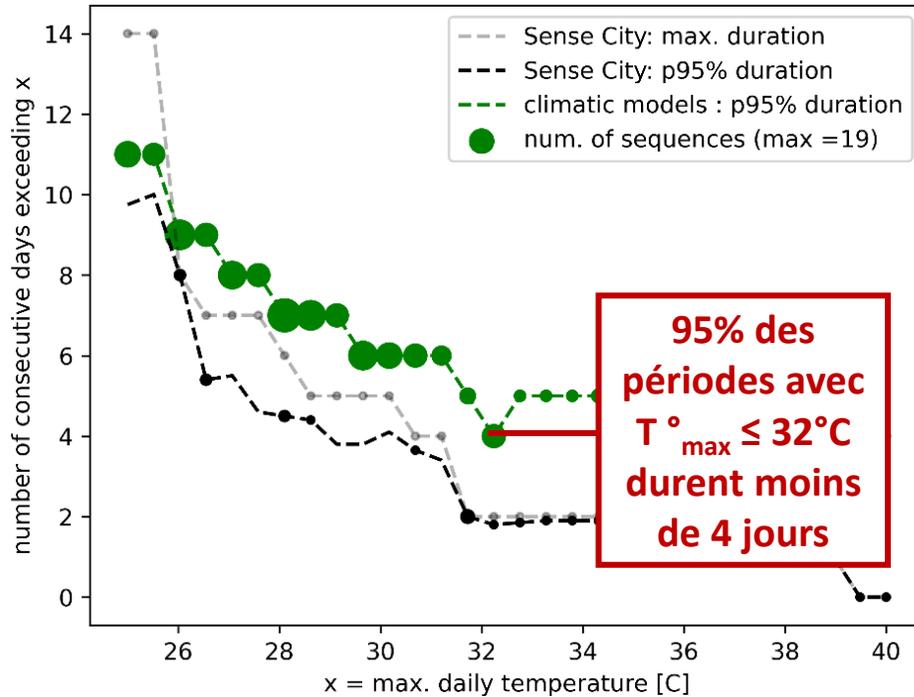
Des vagues de chaleur  
significativement plus longues  
sous-climat futur

Nombre de jours consécutifs avec une  $T^{\circ}$  max. supérieure à un seuil ( $x$ ). En noir: durée max. observée (2022-2023); en vert: 95 centile des durées sous climat futur

# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique



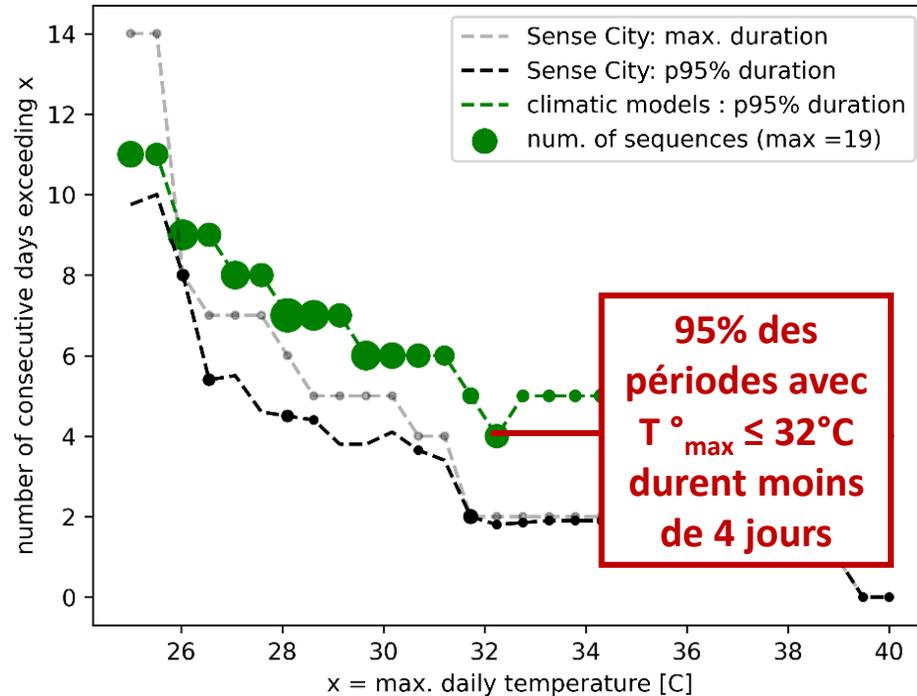
Des vagues de chaleur significativement plus longues sous climat futur

Nombre de jours consécutifs avec une  $T^{\circ}$  max. supérieure à un seuil (x). En noir: durée max. observée (2022-2023); en vert: 95 centile des durées sous climat futur

# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique



Des vagues de chaleur significativement plus longues sous climat futur

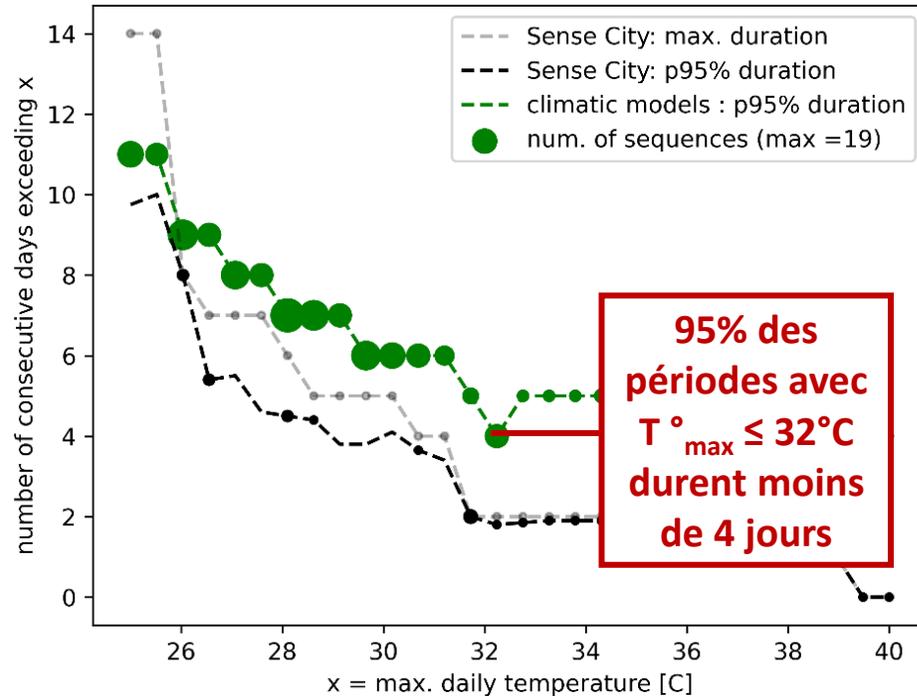
11 périodes identifiées dans le jeu de données simulé → Choix de la période avec la plus forte humidité de l'air pour cette première expérimentation

Nombre de jours consécutifs avec une  $T^{\circ}$  max. supérieure à un seuil ( $x$ ). En noir: durée max. observée (2022-2023); en vert: 95 centile des durées sous climat futur

# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique

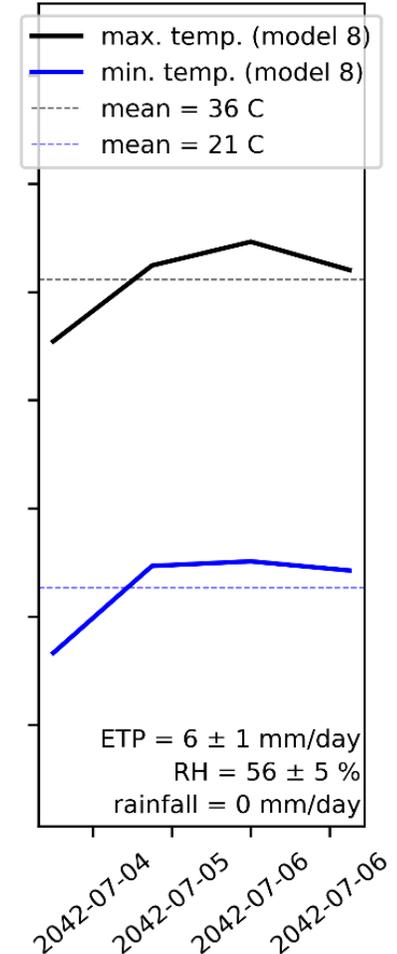


Nombre de jours consécutifs avec une  $T^{\circ}$  max. supérieure à un seuil (x). En noir: durée max. observée (2022-2023); en vert: 95 centile des durées sous climat futur

Des vagues de chaleur significativement plus longues sous climat futur

11 périodes identifiées dans le jeu de données simulé → Choix de la période avec la plus forte humidité de l'air pour cette première expérimentation

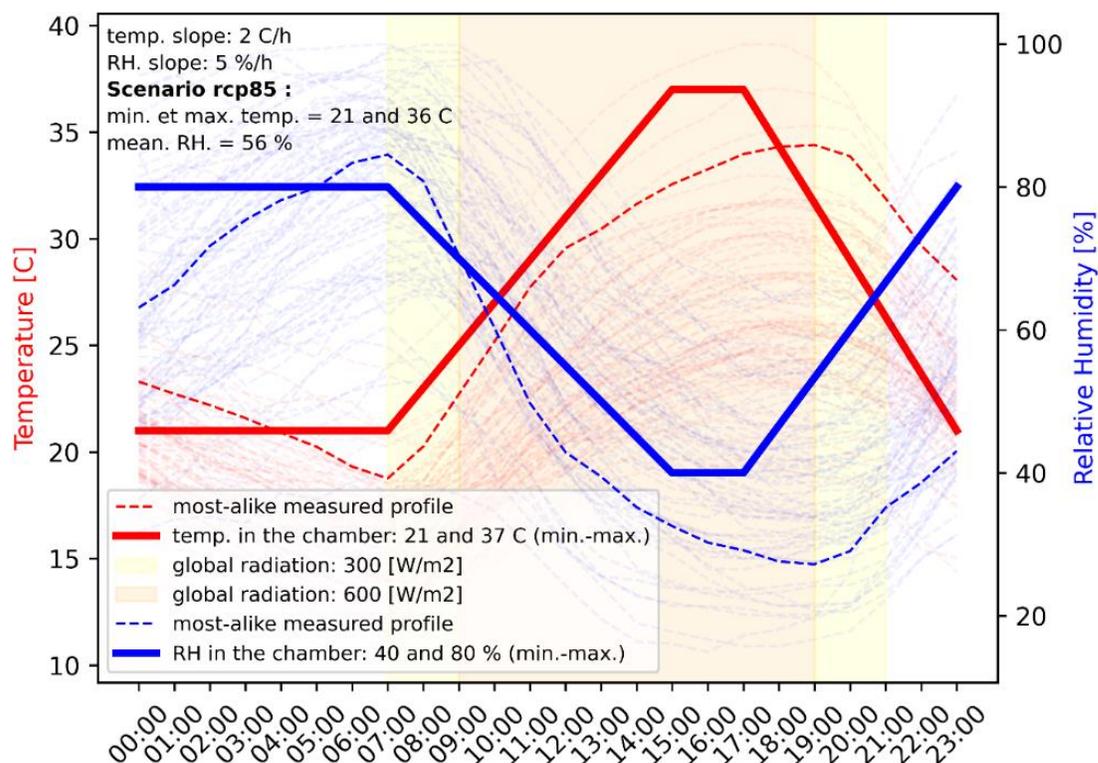
Duration p95% exceeding a temp. of 32 C = 4 days



# Expérimentation sous chambre climatique



## Définition du scénario climatique



Scénario climatique retenu pour la simulation sous-chambre

## Deux cycles de 4 jours

- Cycle de référence : 15 à 25°C, 56 à 88% d'humidité
- Cycle de canicule: 21 à 36°C, 40 à 80% d'humidité

Consigne d'éclairage souhaitée: quantité d'énergie proche de celle reçue pour une journée sans nuage (cible de 600 W/m2)

# Expérimentation sous chambre climatique



## La manip. image



# Expérimentation sous chambre climatique



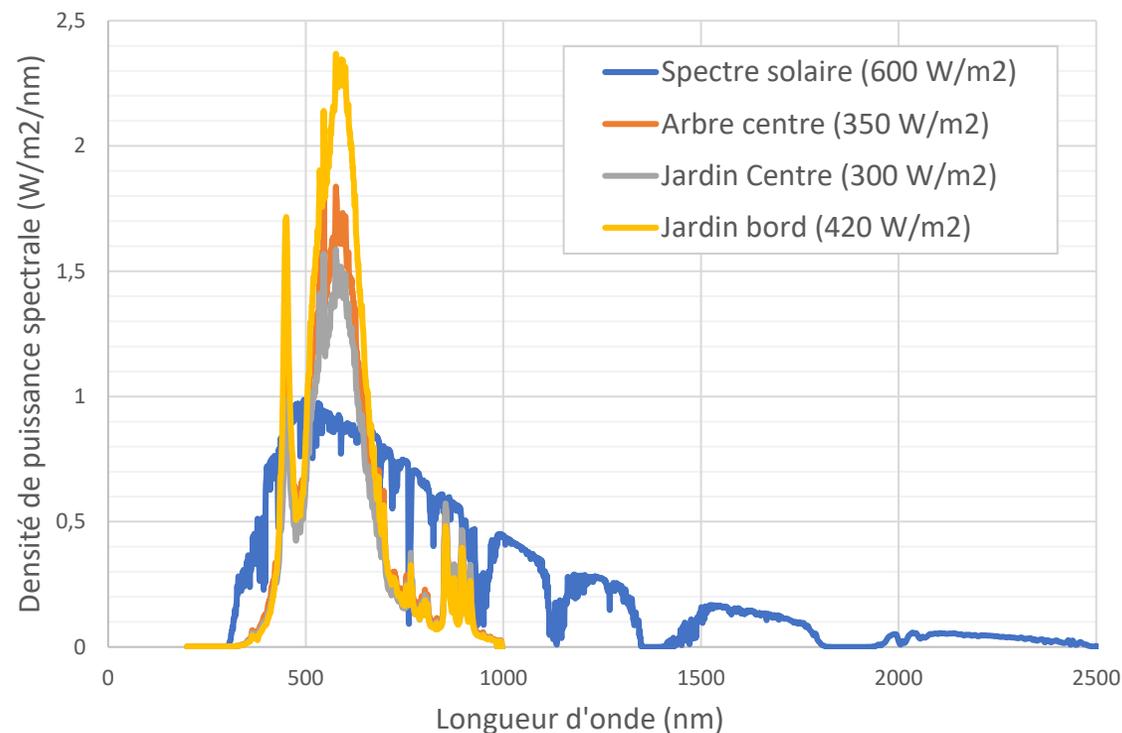
## La manip. image



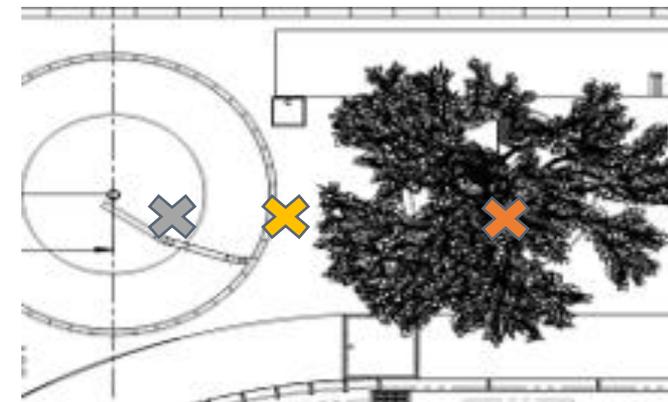
# Expérimentation sous chambre climatique



## Conditions d'éclairage



Résultats de mesures spectrale au niveau des dispositifs étudiés



Localisation des points de mesures

Difficulté à assurer des conditions éclairage réalistes:

- Hétérogénéité spatiale
- Spectre très différents de celui du soleil
- Puissance reçue limitée (déficit d'infrarouges)

# Expérimentation sous chambre climatique

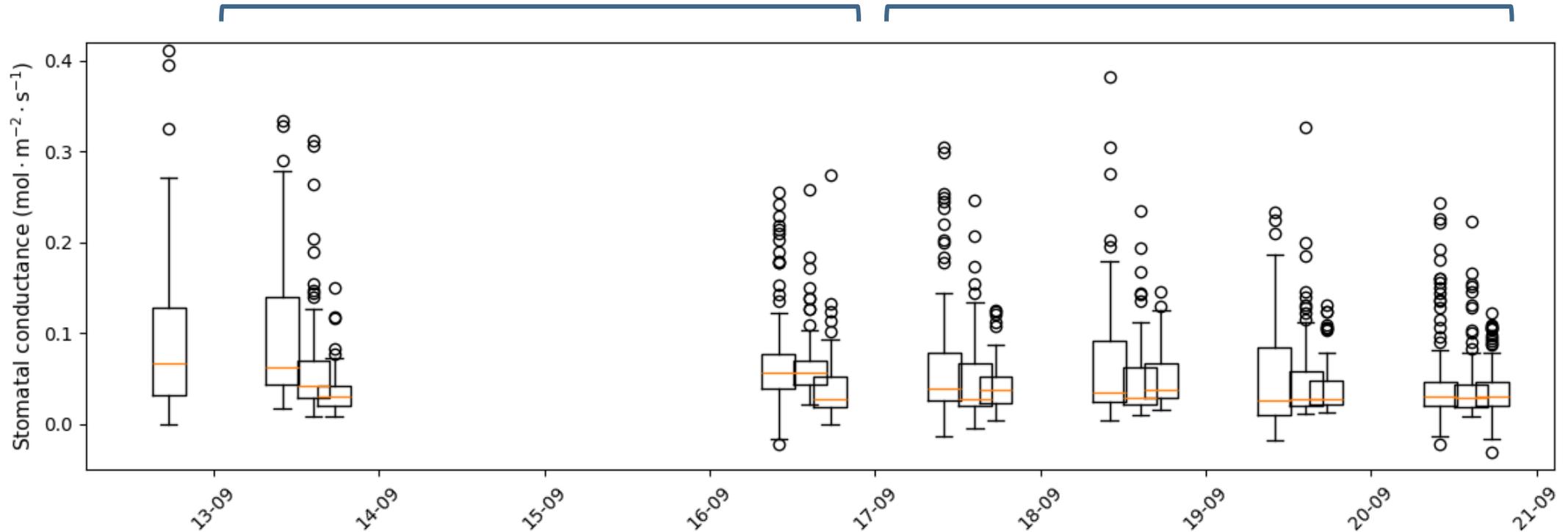


## Premiers résultats

(conductance stomatique)

Cycle de référence

Cycle « canicule »



# Expérimentation sous chambre climatique

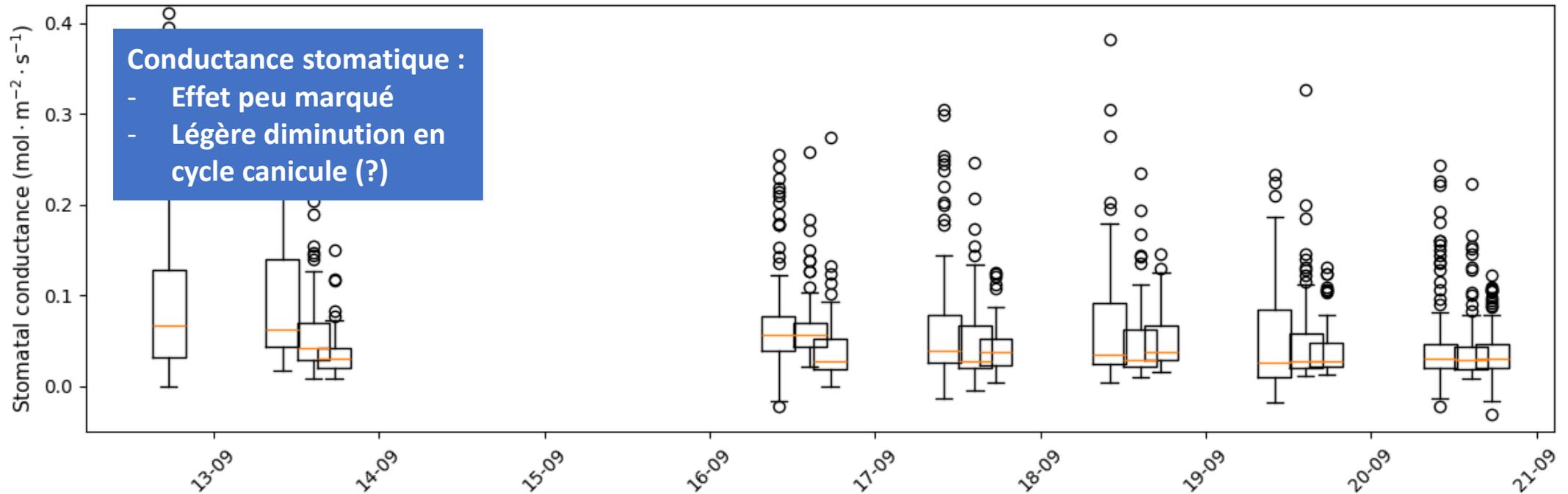


## Premiers résultats

(conductance stomatique)

Cycle de référence

Cycle « canicule »



# Expérimentation sous chambre climatique

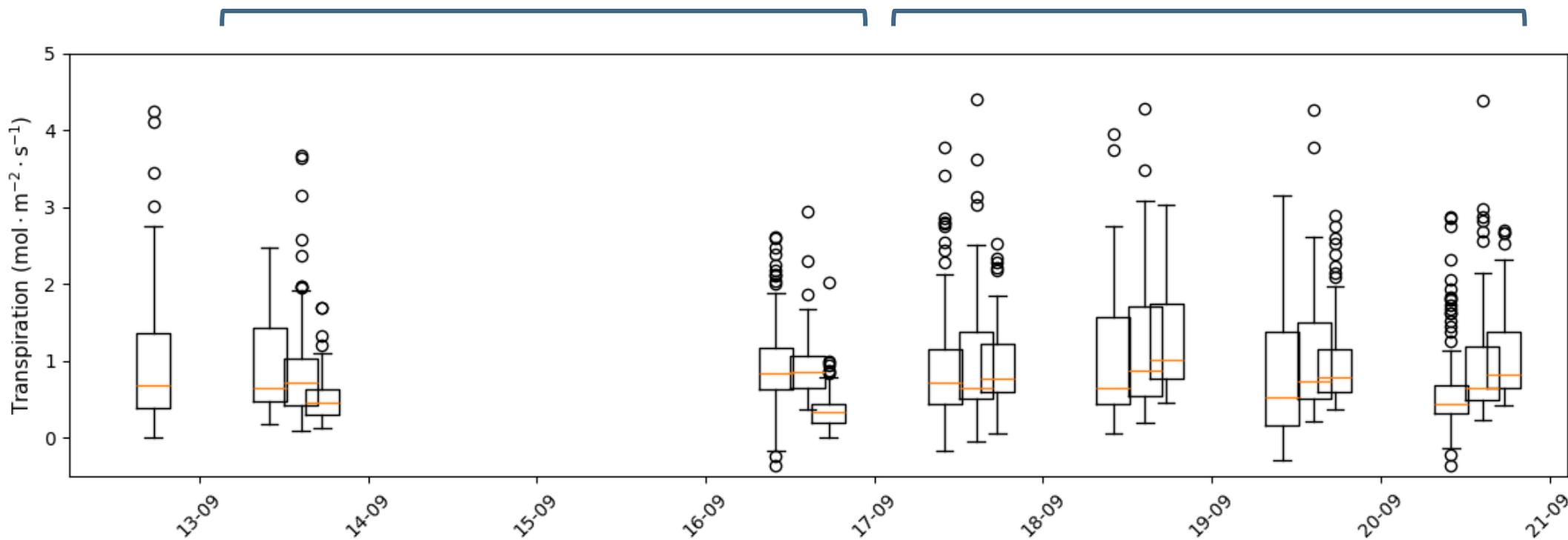


## Premiers résultats

(transpiration à l'échelle de la feuille)

Cycle de référence

Cycle « canicule »



# Expérimentation sous chambre climatique

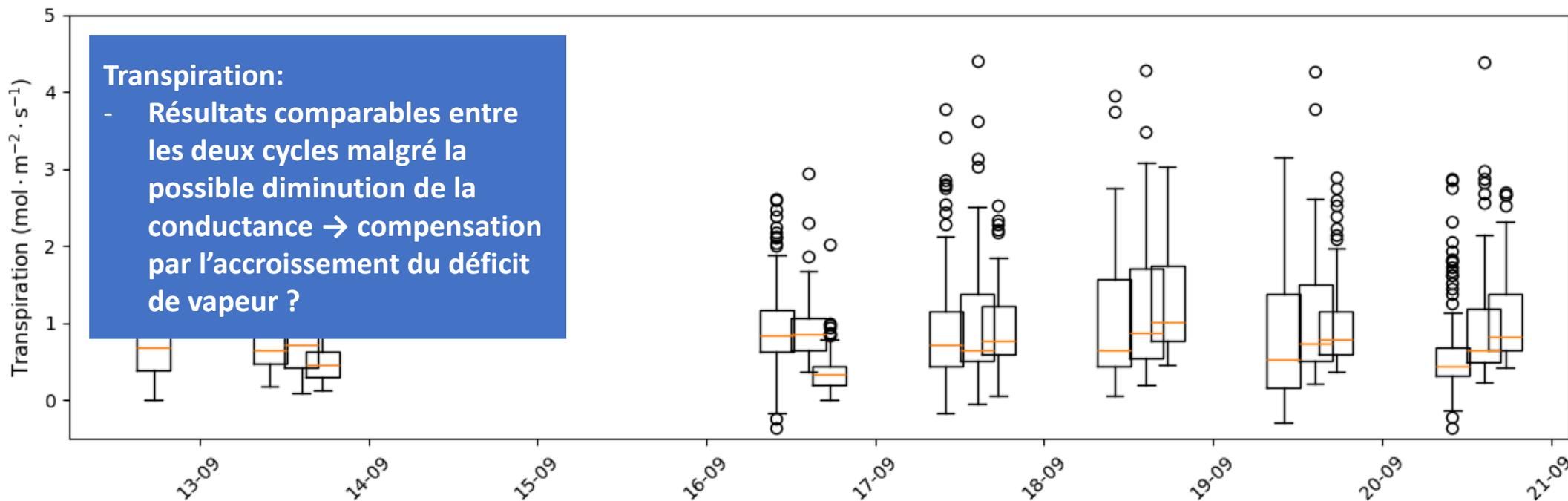


## Premiers résultats

(transpiration à l'échelle de la feuille)

Cycle de référence

Cycle « canicule »



# Expérimentation sous chambre climatique

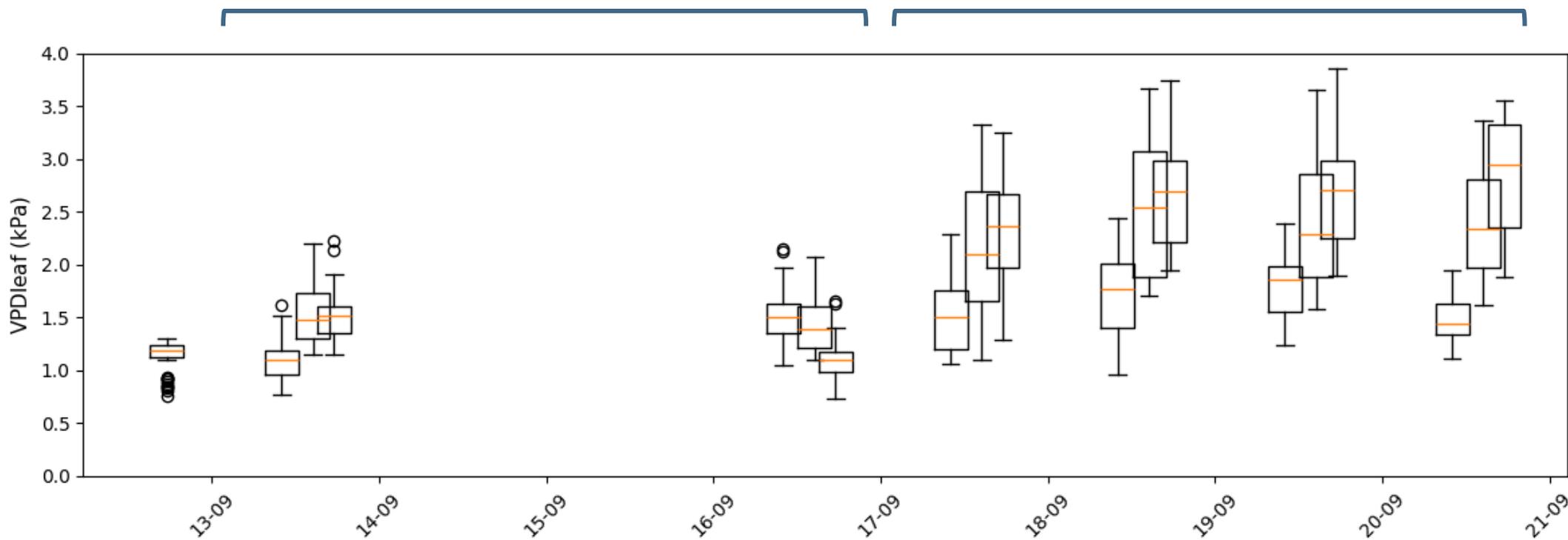


## Premiers résultats

(déficit de teneur en eau)

Cycle de référence

Cycle « canicule »



# Prochaines étapes

---



## D'ici le printemps 2025

- Exploitation des données acquises sous chambre climatique en 2024 et protocole pour manip.2025
- Jeux de données climatiques futurs à pas de temps fin pour les 5 climats étudiés et indentification des extrêmes
- Cadre de modélisation validé pour différentes SFN<sub>EP</sub> et climats
- Démarrage d'ateliers de cocréation en France et en Grèce autour de cas d'étude identifiés par les collectivités

# Perspectives

---



## Retombées attendues

- Orientations (voire préconisations) pour concevoir des SFN<sub>EP</sub> plus efficaces et résilientes sous climat futur
- Expérimentation d'approches plus collaboratives pour la mise en œuvre des SFN<sub>EP</sub> dans les projets d'aménagement
- Stratégies pour favoriser le déploiement des SFN<sub>EP</sub>, en tenant compte du contexte local (réglementaire, organisationnel...)
- Evaluation des bénéfices des SFN<sub>EP</sub> à l'échelle de la ville susceptibles de guider les interventions des collectivités ou de communiquer sur les politiques qu'elles mettent en œuvre

# Merci de votre attention

Contacts: [marie-christine.gromaire@enpc.fr](mailto:marie-christine.gromaire@enpc.fr), [jeremie.sage@cerema.fr](mailto:jeremie.sage@cerema.fr)