SYMPOSIUM FINAL H2C

CHALEUR ET SANTÉ EN VILLE

Lundi 6 octobre 2025 – *Projet financé par l'ANR (ANR-20-CE22-0013)*

H2C
HEAT & HEALTH IN CITIES

FINANCÉ PAR ANR

CNRM · IPSL · PRODIGE · CSTB le futur en construction · Santé publique France · AIRPARIF · L'INSTITUT PARIS REGION

SÉQUENCE C

Le défi des Solutions de rafraîchissement et de protection : espaces verts et logement

Animation : Christian THIBAULT, Directeur du Département Environnement urbain et rural, IPR

SÉQUENCE C

Le défi des Solutions de rafraîchissement et de protection : espaces verts et logement

- **Martial HAEFFELIN,** Directeur Adjoint, *Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), projet H2C*
- **Jean-Marie ALESSANDRINI,** Ingénieur - Direction Energie Environnement, *Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), projet H2C*

- **Nicolas HERBRETEAU,** Responsable Environnement Extérieur / Pilotage du PRSE Île-de-France, *Agence régionale de santé Île-de-France (ARS)*
- **David LEBANNIER,** Associé et Responsable d'activité R&D, *Pouget Consultants*
- **Léa MORFOISSE,** Cheffe du département Adaptation et Résilience, *Ville de Paris*

Grand témoin

- **Valéry MASSON,** Auteur principal pour le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les villes, *CNRM Météo France*

SÉQUENCE C

Martial HAEFFELIN

Ingénieur – Chercheur HDR CNRS, Coordinateur des systèmes d'observation pour H2C

Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

Projet H2C

EFFET DES PARCS URBAINS POUR L'ATTÉNUATION DE LA CHALEUR EN VILLE : INFLUENCE DES RÉGIMES DE TEMPS

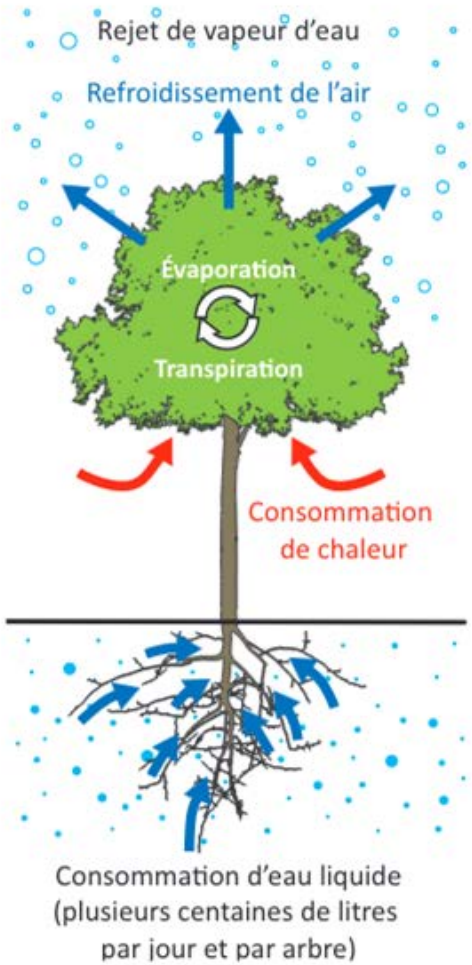
Avec les contributions de

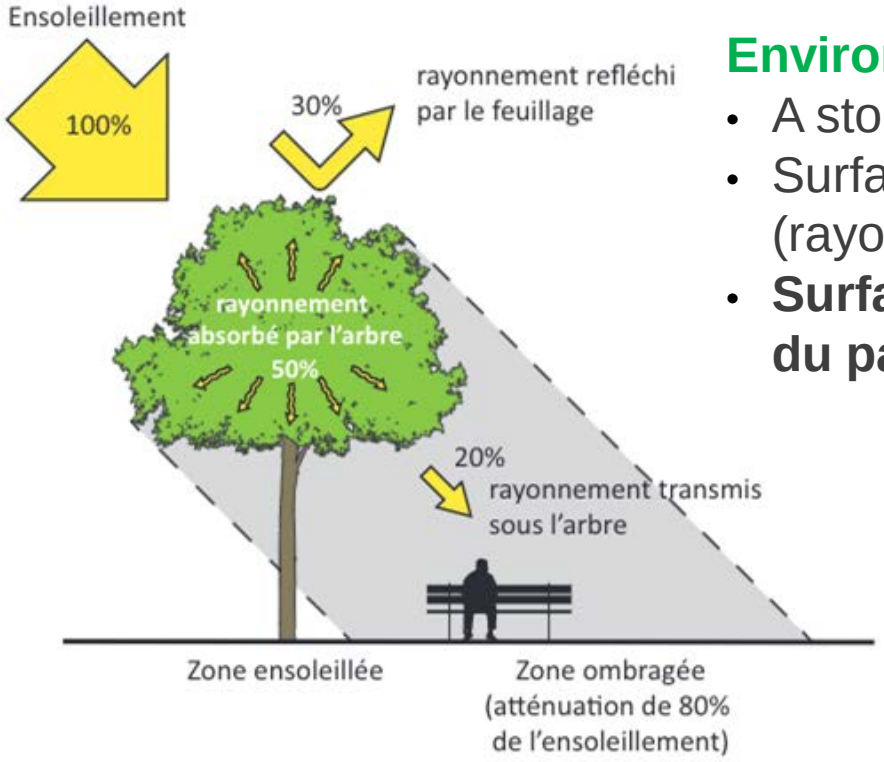
Simone Kotthaus, Jean-François Ribaud, Jean-Charles Dupont, Manal Bekhti, Misha Faber
Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), **CNRS**

Aude Lemonsu, Valéry Masson, Tim Nagel
Centre National de la Recherche Météorologique (CNRM), **Météo-France**

VÉGÉTATION POUR ATTÉNUER LA CHALEUR EN VILLE ?
Évapotranspiration et ombrage

De jour





Source figure APUR

- **Consommation d'eau**
- **Nécessité d'un sol de qualité**
- **Racines profondes**

De nuit

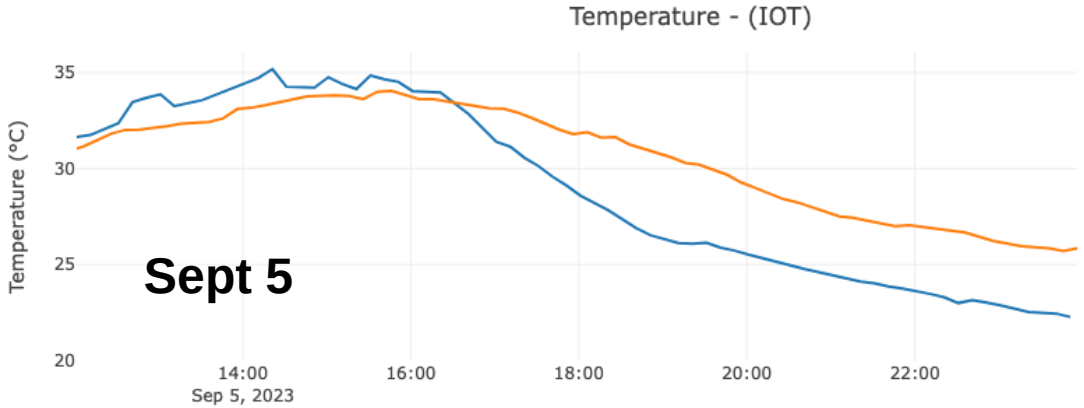
Environnement naturel

- A stocké moins de chaleur
- Surfaces se refroidissent rapidement (rayonnement infrarouge)
- **Surfaces fraiches refroidissent l'air du parc**

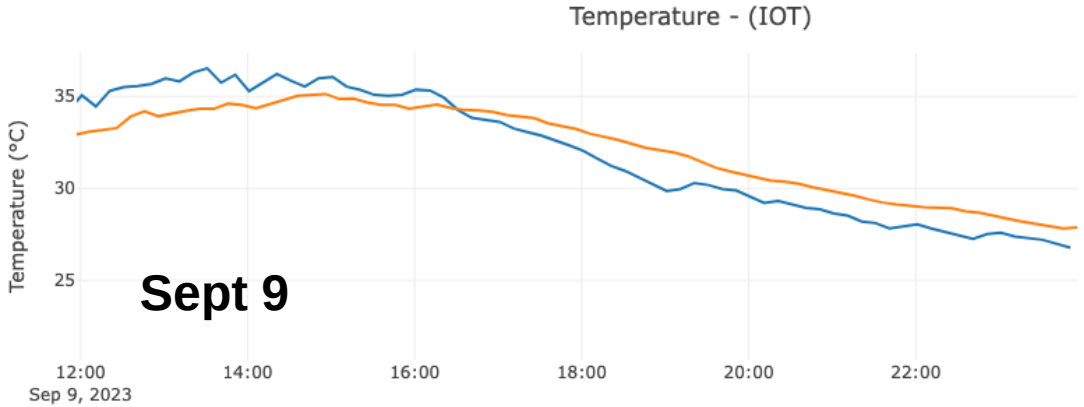
- **Intérêt de présence de plusieurs strates végétales**

VÉGÉTATION POUR ATTÉNUER LA CHALEUR EN VILLE ?

L’intensité de refroidissement de la végétation en ville par rapport au milieu bâti environnant est très variable



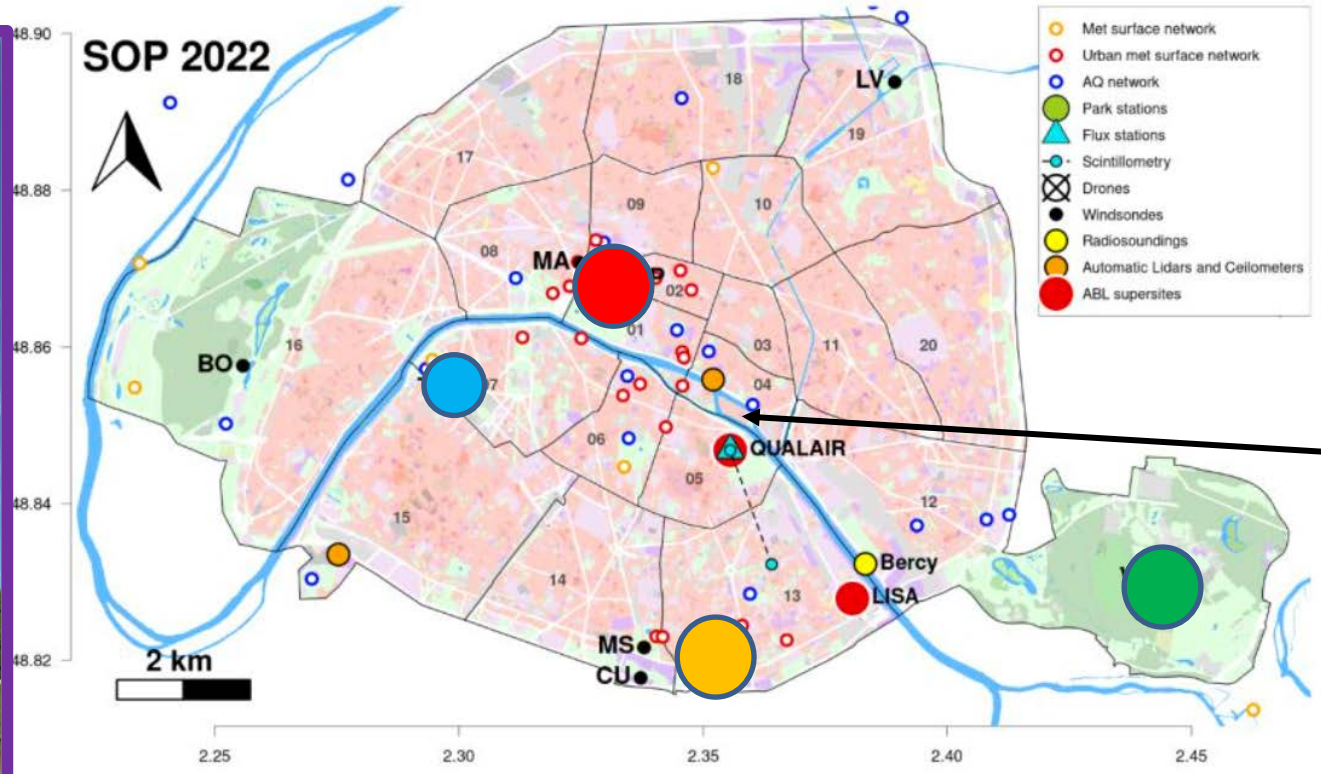
Bâti
Parc urbain: 4°C +froid



Bâti
Parc urbain: 0.5°C +froid

→ Objectif de l’étude : expliquer cette variabilité

RÉSEAU DE MESURES DU PROJET
Température, humidité, vent, turbulence



Centre-ville urbain
Parcs urbains (1-20 ha)
Forêts (900 ha) et zones rurales
Tour Eiffel (287 m)
Lidar Doppler (150-2000 m)
Wind sondes (0-3000m)

Profils du vent et des turbulences

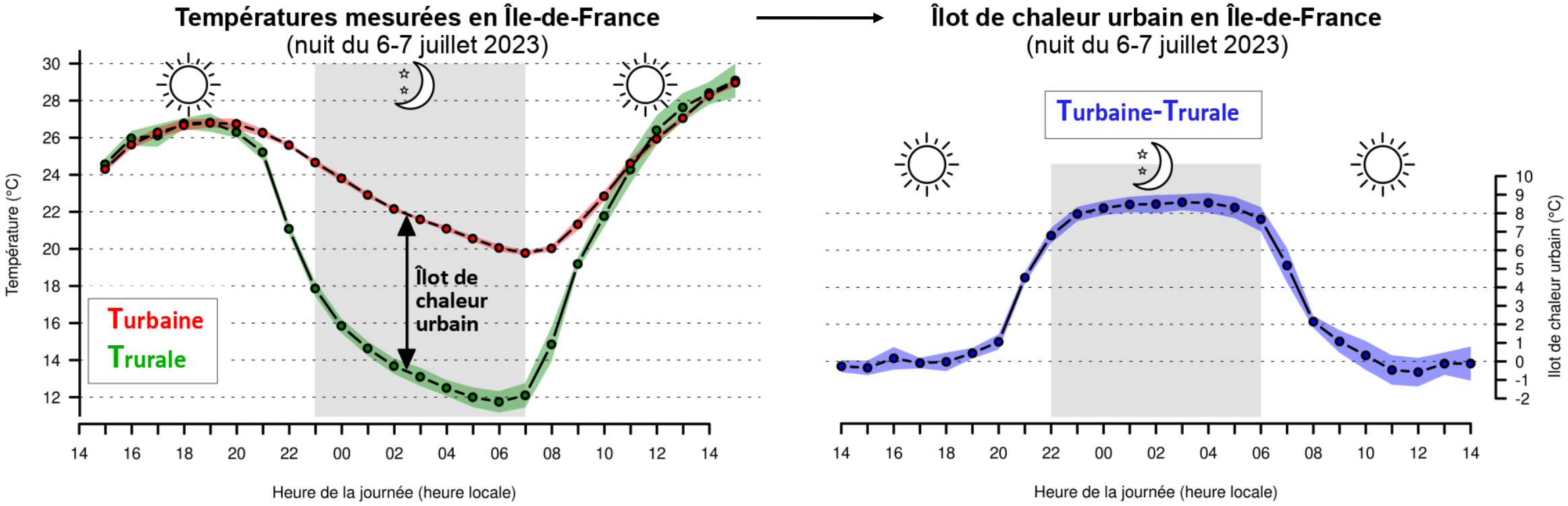
- Périodes d'observation intensive
- Focus sur le refroidissement nocturne (16-20-00UT)
- Contrastes spatiaux (parc-ville)

TEMPÉRATURE EN VILLE ET ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Îlot de chaleur urbain (ou **ICU**) : Température de l'air plus élevée en milieu urbain que dans les zones rurales environnantes, particulièrement durant la nuit

- Métrique souvent exprimée à l'échelle de la ville (par rapport à son environnement) :

ICU = Turbaine – Trural (en°C)

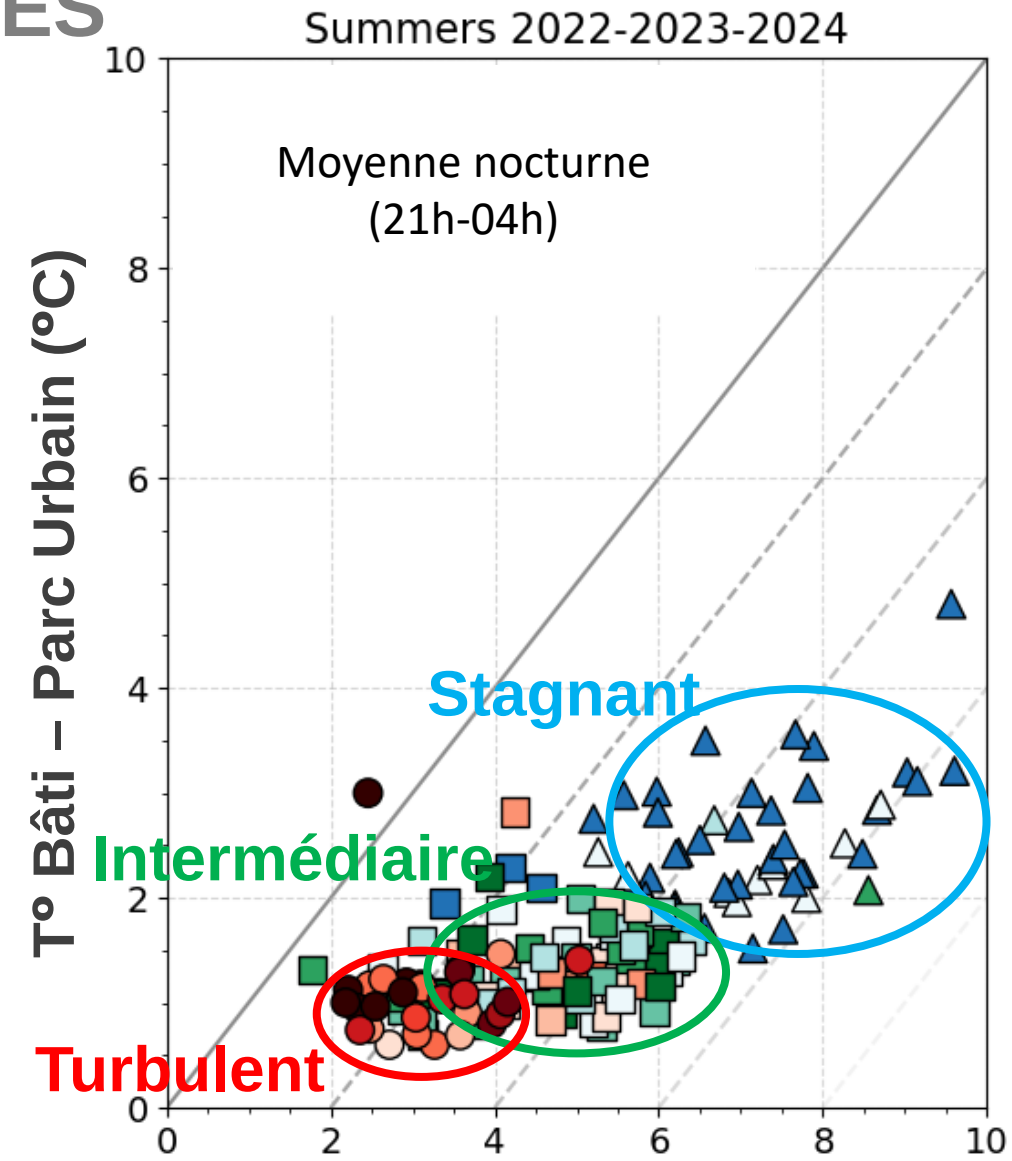


Source : A. Lemonsu, projet H2C

REFROIDISSEMENTS NOCTURNES ET RÉGIMES DE BRASSAGE DE L’AIR

REFROIDISSEMENT NOCTURNE DES PARCS ET ZONES RURALES

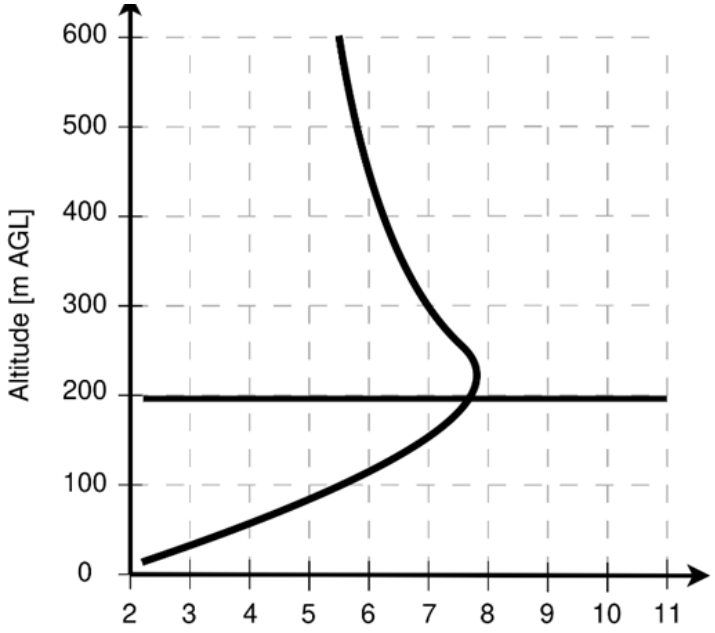
Nous avons identifié trois régimes de brassage de l'air qui influencent le refroidissement nocturne.



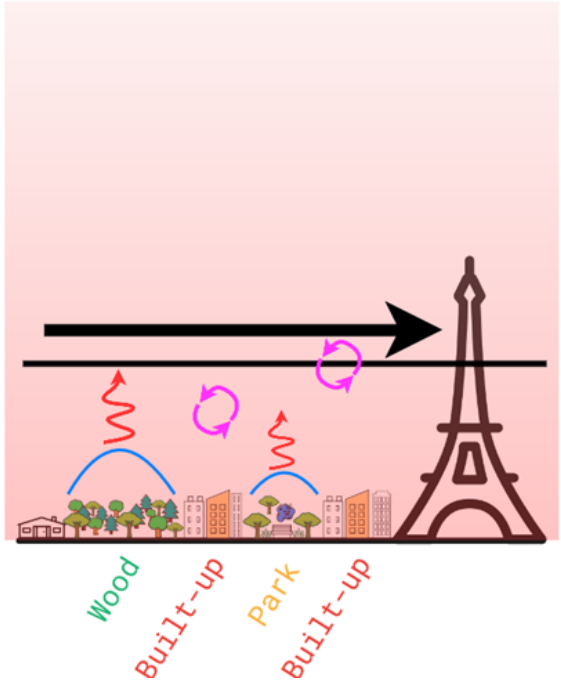
Tº Milieu bâti– Zone rurale (ºC) ← ICU

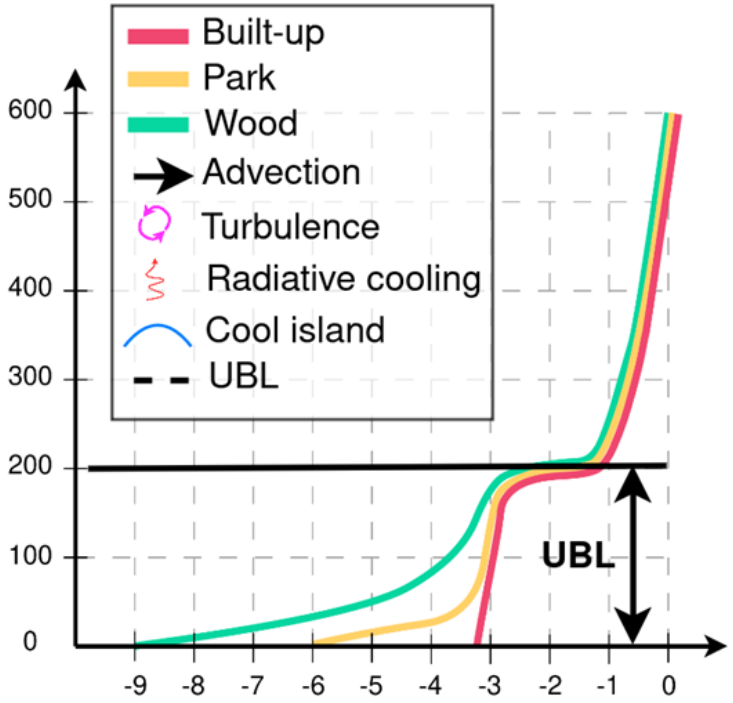
RÉGIMES DE BRASSAGE DE L'AIR

A) Régime stagnant



Profil de vitesse du vent



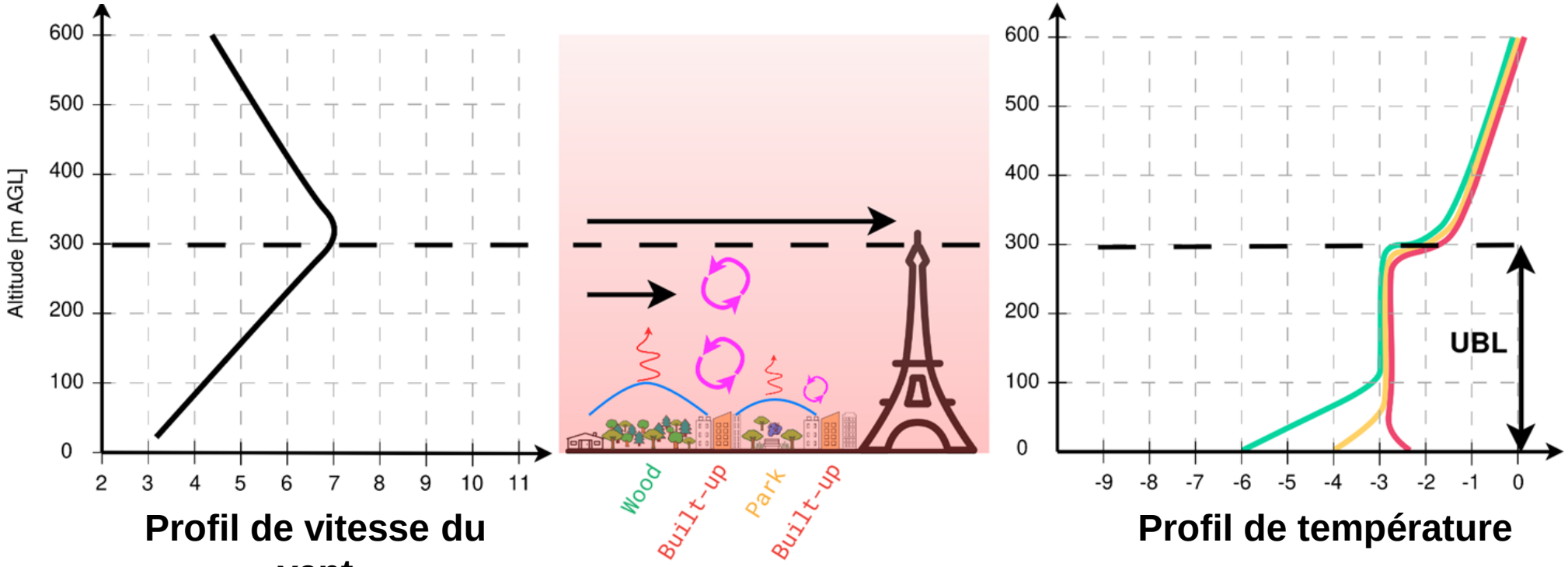


Profil de température

- Vitesse du vent et brassage de l'air près du sol sont **très faibles**
- Refroidissement radiatif efficace dans les zones végétalisées => ++stabilité --mélange
- → Forts gradients horizontaux de température

RÉGIMES DE BRASSAGE DE L'AIR

B) Régime intermédiaire



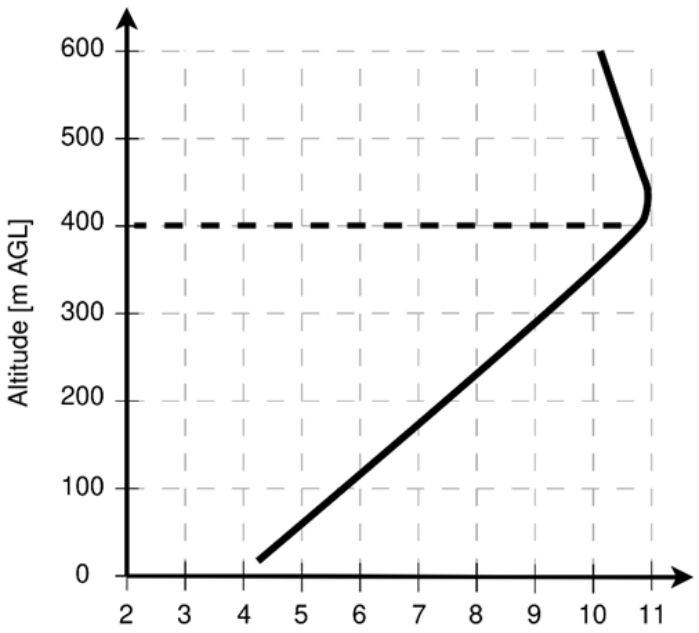
Profil de vitesse du vent

Profil de température

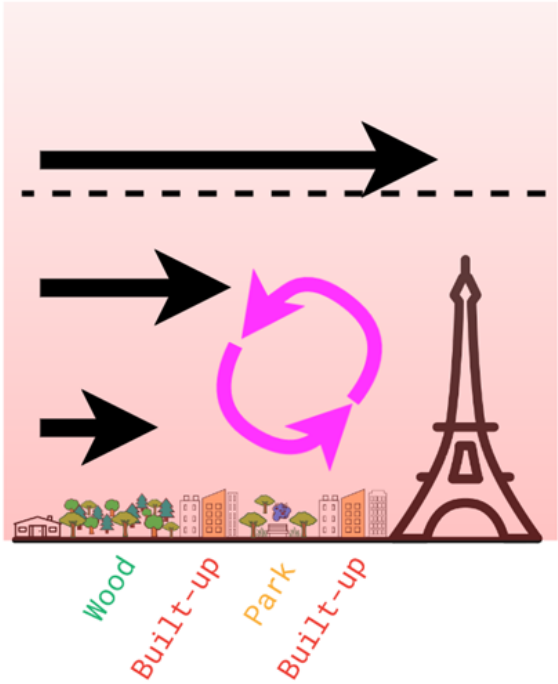
- Vitesse du vent et brassage de l'air près du sol sont **moyens**
- Refroidissement radiatif dans les parcs et refroidissement turbulent dans les zones bâties et les parcs
- Gradients horizontaux de température plus faibles

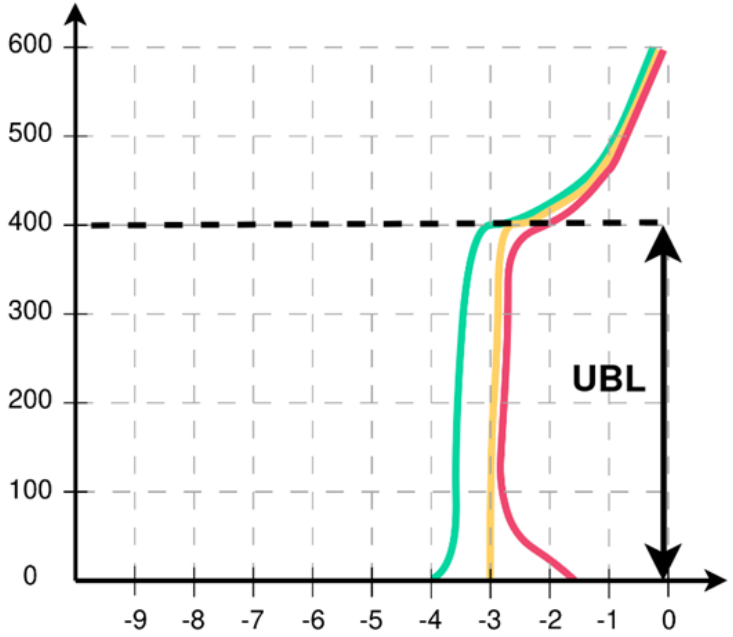
RÉGIMES DE BRASSAGE DE L'AIR

C) Régime turbulent



Profil de vitesse du vent





Profil de température

- Vitesse du vent et brassage de l'air sont **forts** près du sol
- Refroidissement turbulent et mélange dans les parcs et les zones bâties
- Gradients horizontaux de température très faibles

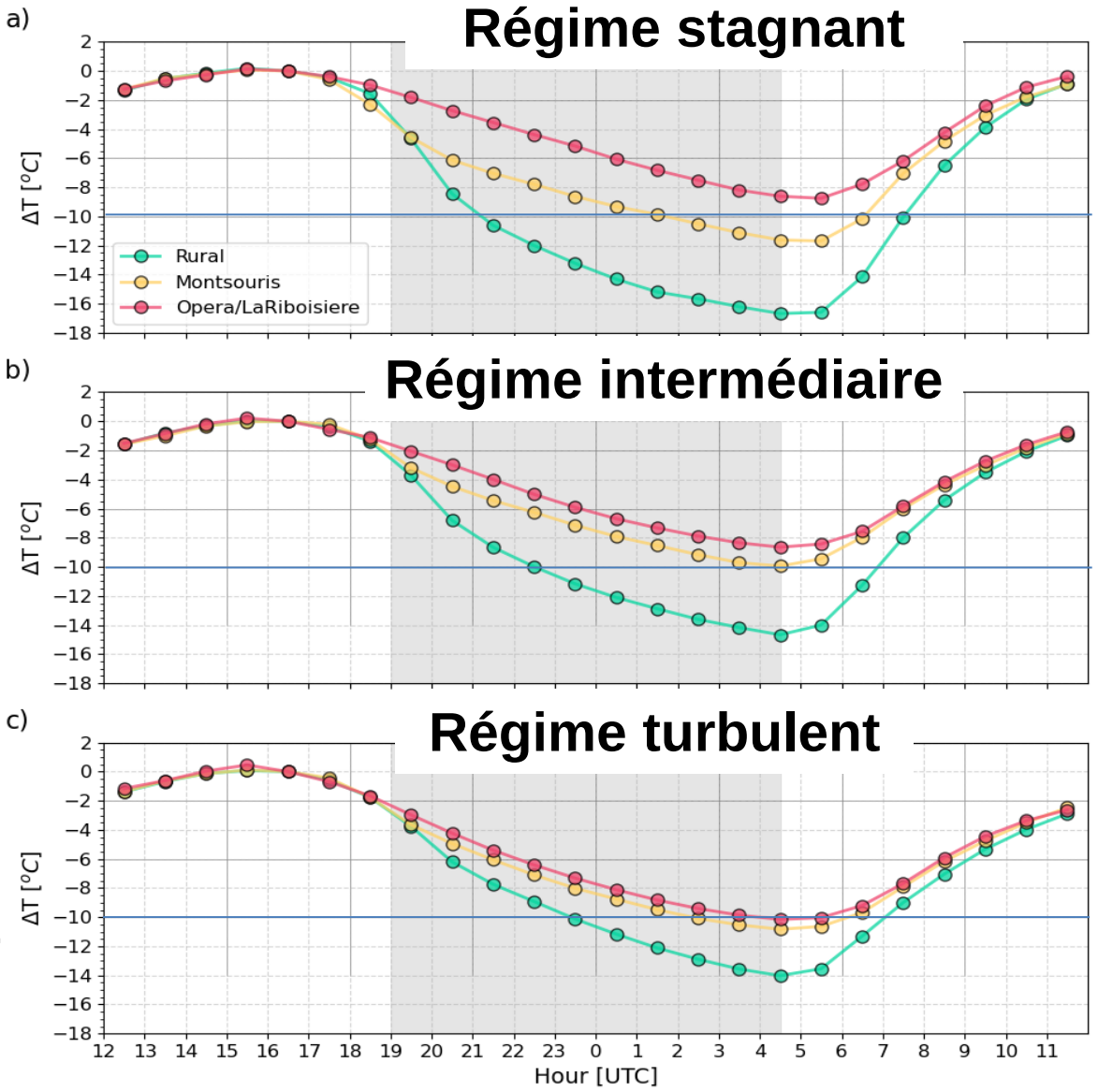
ÉCARTS DE TEMPÉRATURE À L'ÉCHELLE RÉGIONALE
Contrastes bâti – parcs – rural

IMPACTS DES RÉGIMES SUR LE REFROIDISSEMENT NOCTURNE

Milieu bâti (Paris Opéra)
Parc urbain (Montsouris)
Zone rurale (Melun)

Régimes stagnants:

- entraînent de forts contrastes de température entre les zones bâties et les zones végétalisées.
- Le refroidissement maximal, de 2 à 3 °C/h, se produit au coucher du soleil.
- Les zones bâties ne bénéficient pas ou peu du refroidissement apporté par les parcs.



IMPACTS DES RÉGIMES SUR LE REFROIDISSEMENT NOCTURNE

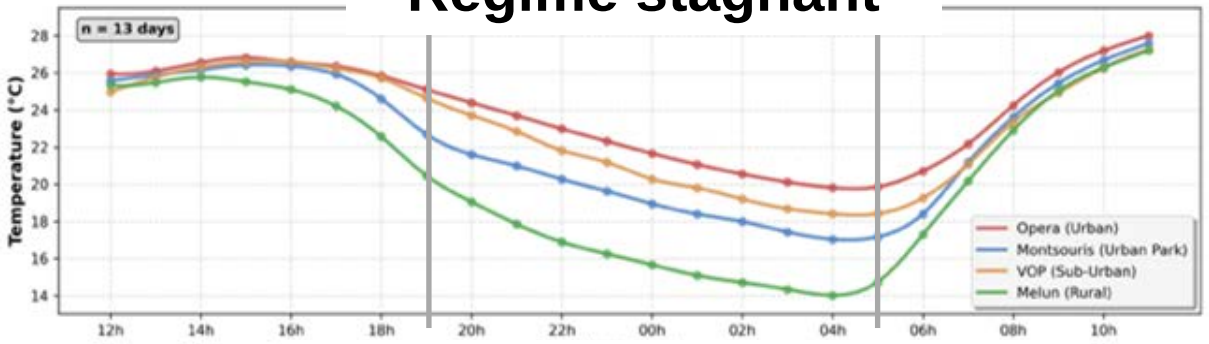
Milieu bâti (Paris Opéra)

Village Olympique (Saint Denis)

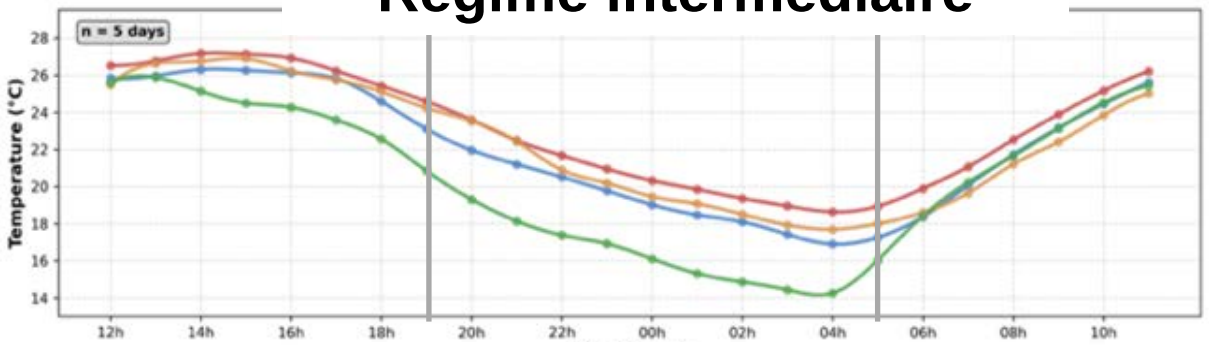
Parc urbain (Montsouris)

Zone rurale (Melun)

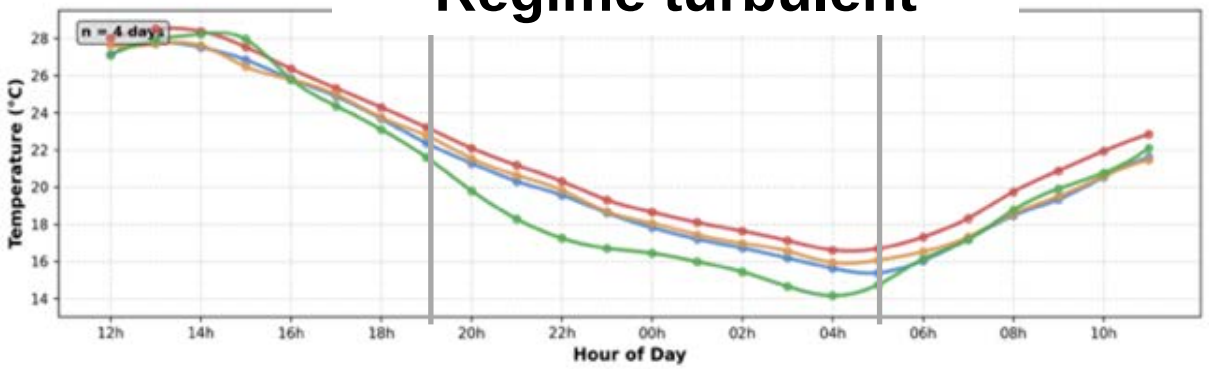
Régime stagnant



Régime intermédiaire



Régime turbulent

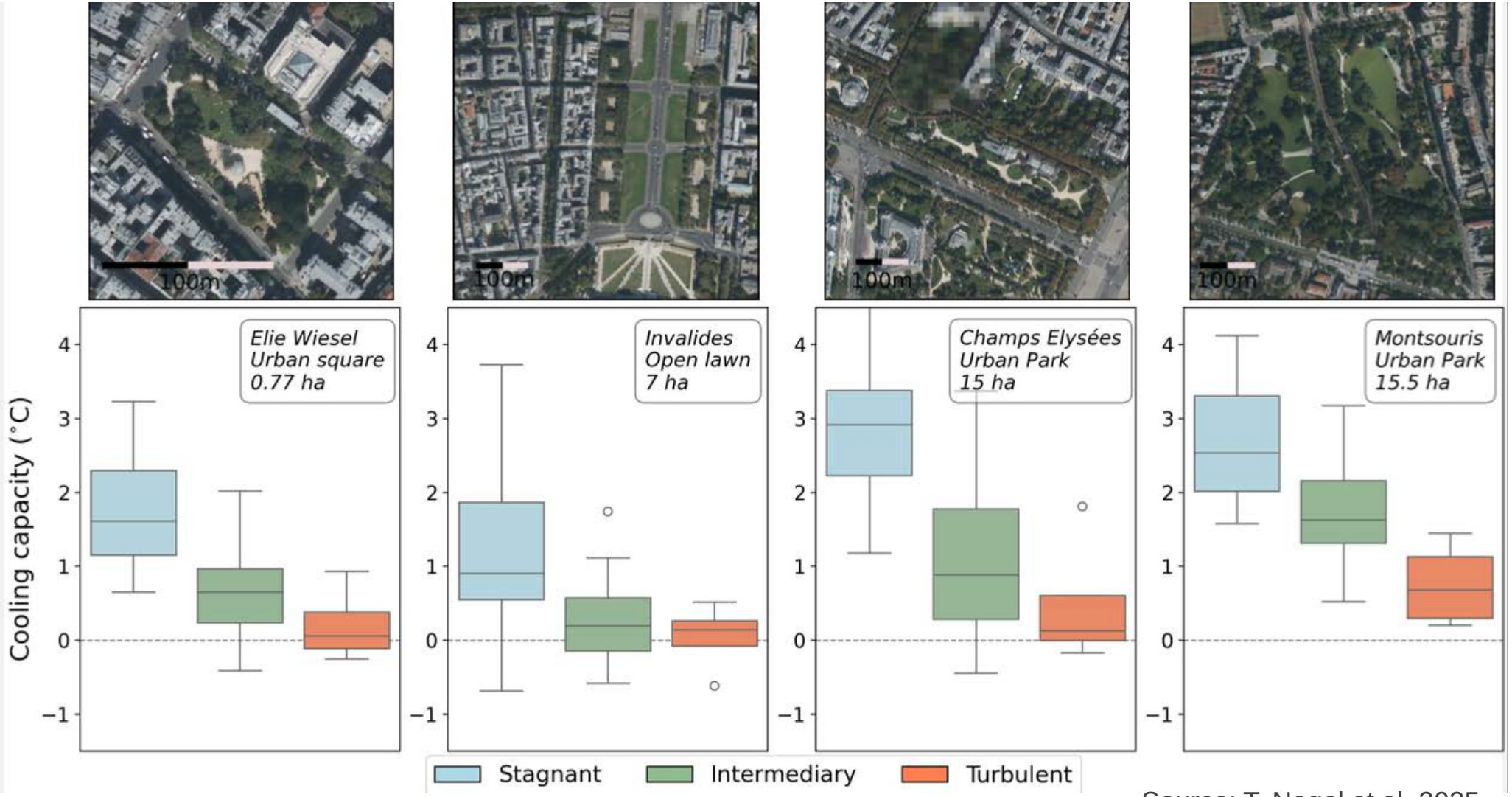


Source Manal Bekhti, M2 CLUES

ÉCARTS DE TEMPÉRATURE À L’ÉCHELLE LOCALE
Impact de la configuration des espaces verts

IMPACT DE LA TAILLE DU PARC EN FONCTION DU RÉGIME

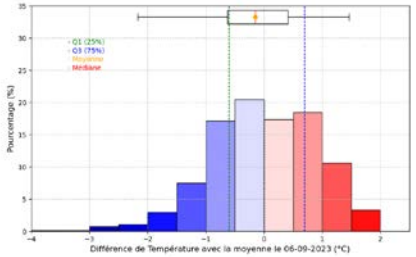
Refroidissement nocturne des parcs urbains par rapport aux zones bâties environnantes

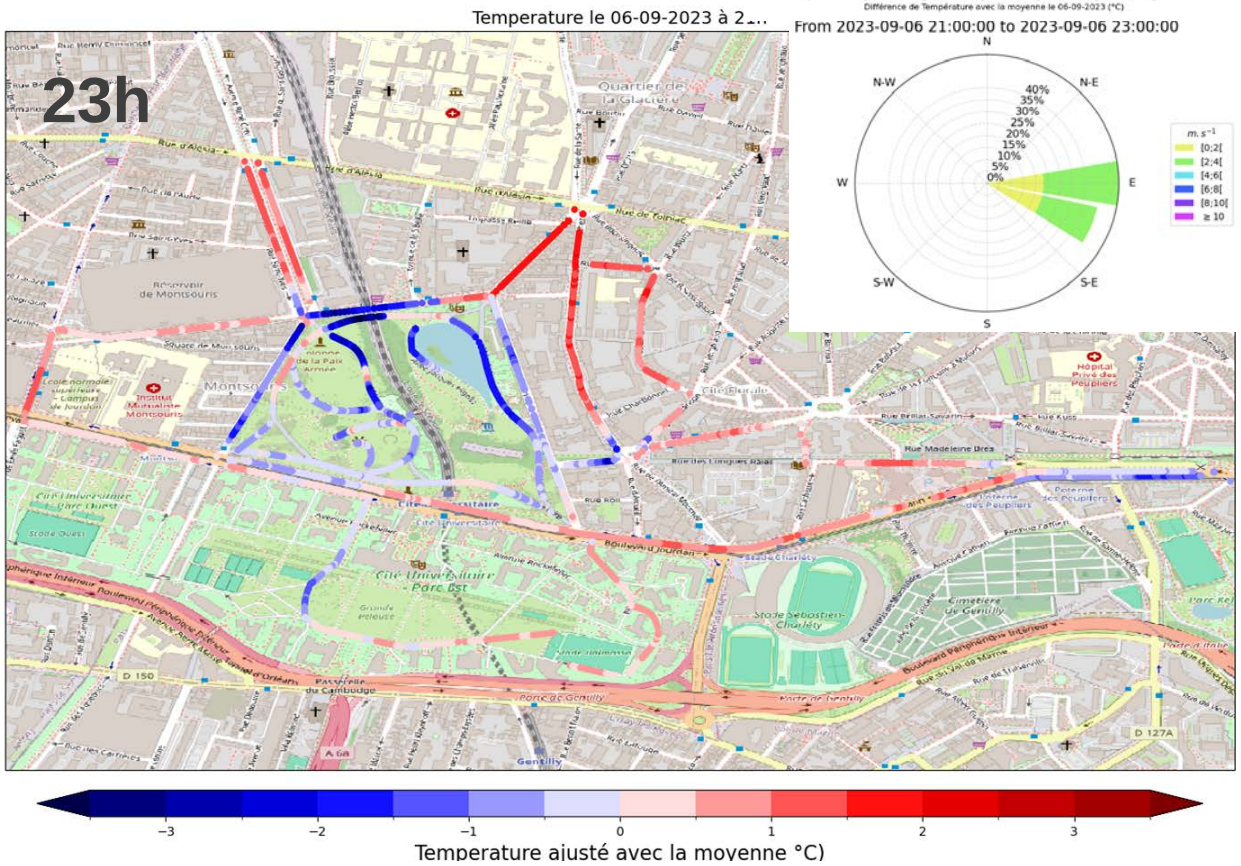


Source: T. Nagel et al. 2025

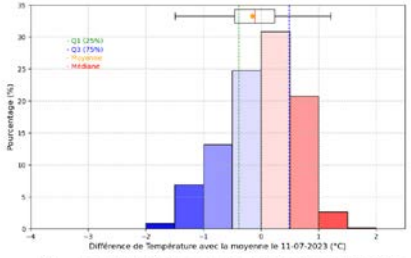
VARIABILITÉS SPATIALES À L'ÉCHELLE DU QUARTIER

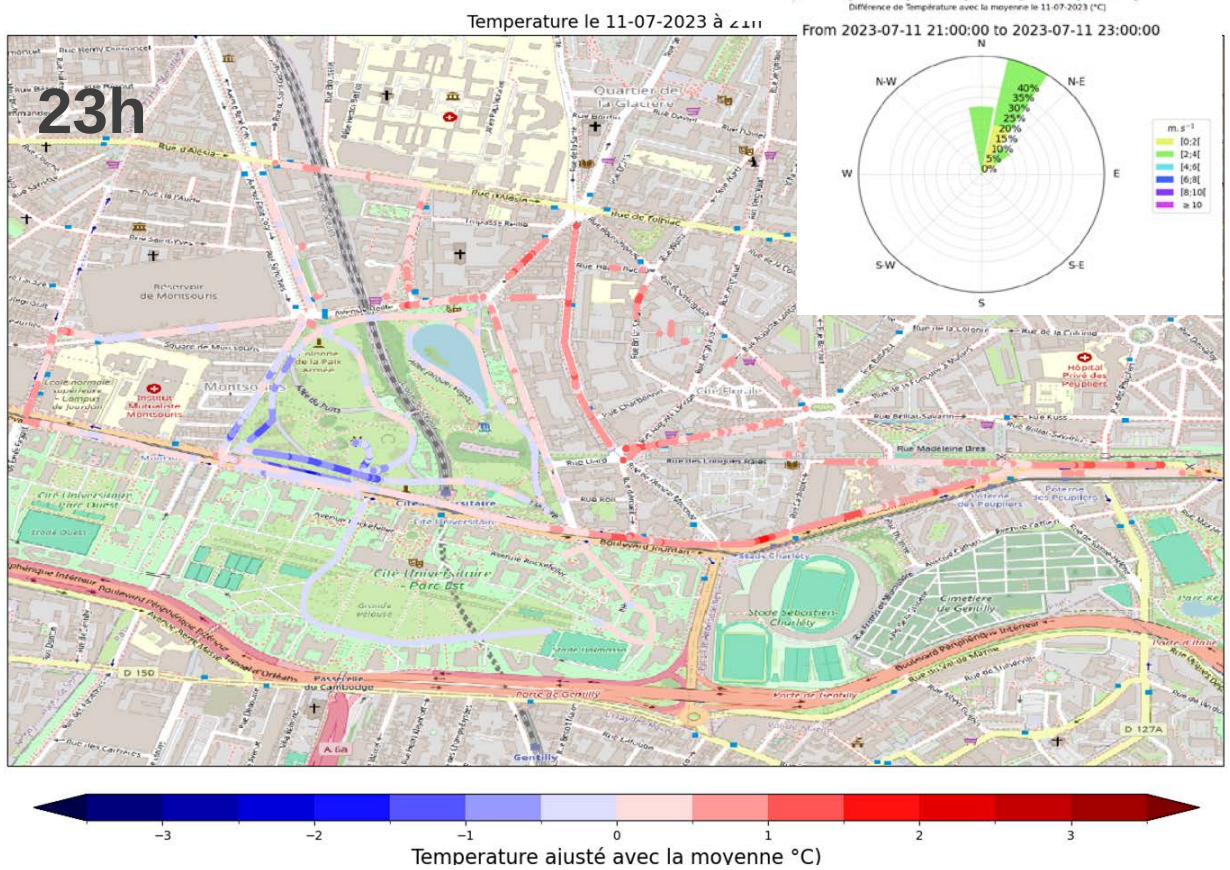
Régime stagnant
Contrastes thermiques marqués entre le parc et les zones bâties





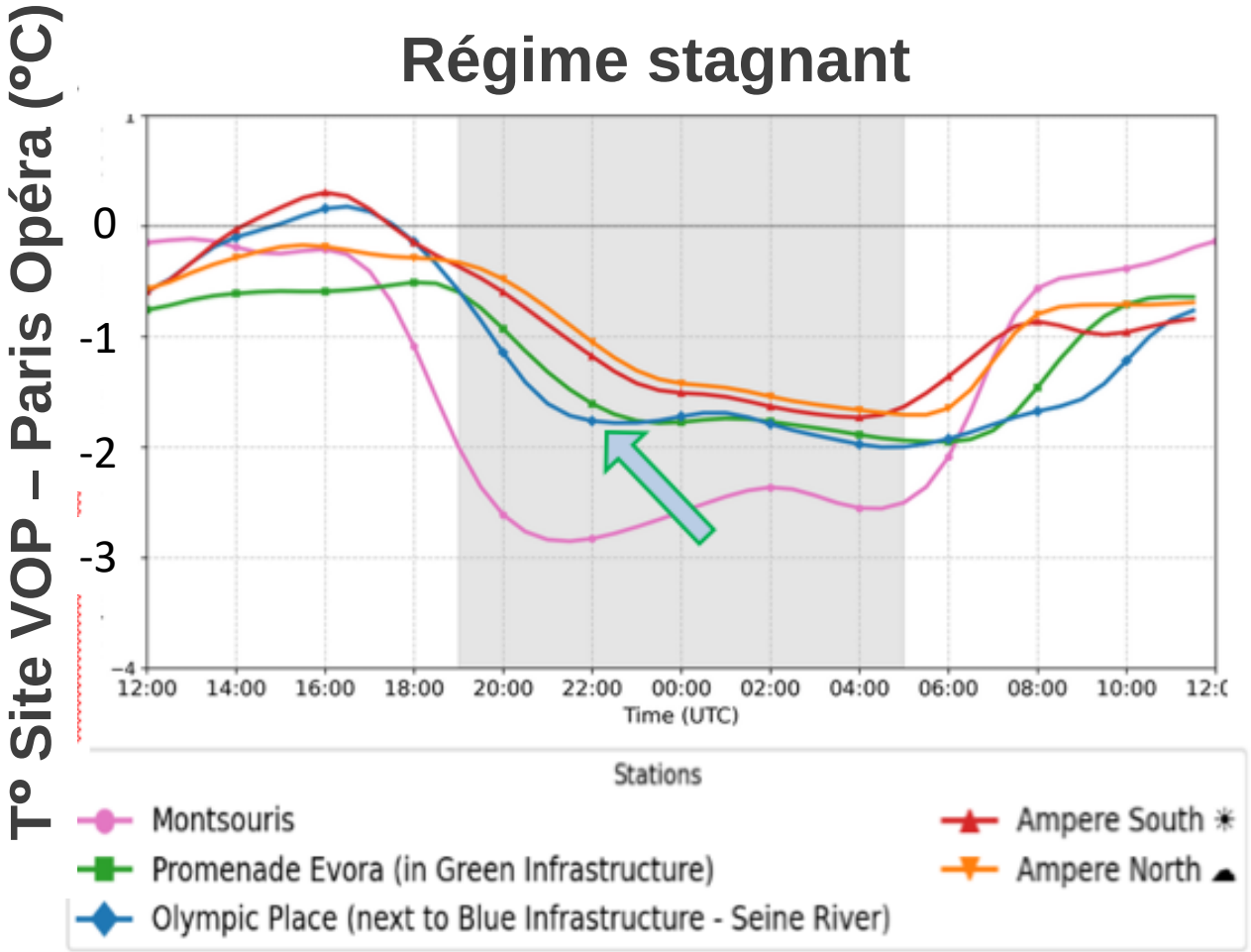
Régime turbulent
Contrastes thermiques moins marqués entre les parcs et les zones bâties





Régimes stagnants : les contrastes entre les rues révèlent une faible propagation de l'air frais

CAS D'ÉTUDE DU VILLAGE OLYMPIQUE



Source: Manal Bekhti, M2 CLUES
Collaboration SOLIDEO et Plaine Commune

CONCLUSIONS

- **Effets ombrage, évapotranspiration, réduction accumulation de chaleur → impacts diurnes et nocturnes contrastés**
- **Régimes de brassage de l'air: stagnant révèle les effets des aménagements sur la température ; intermédiaire et turbulent masquent ces effets**
- **Différences de températures nocturnes à l'échelle régionale:**
  - Régime stagnant: ICU (6-10°C); Bâti-Parc (2-4°C); Opéra-VOP (1-2°C)
- **Différences de températures nocturnes à l'échelle locale:**
  - Taille et configuration des parcs: 1ha multi-strates végétales → **1-2°C de rafraichissement nocturne**. (15 ha multi-strates → 3-4°C)
  - Régime stagnant: propagation de l'air frais des parcs urbains limitée par obstacles
  - Aménagements bioclimatiques VOP (Ombrage, circulation d'air, matériaux, Infra bleue et verte) → **1-2°C de rafraichissement nocturne sur tout le VOP**

SÉQUENCE C

Jean-Marie ALESSANDRINI

Ingénieur

Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

Projet H2C

INFLUENCE DE L’ICU SUR L’AMBIANCE THERMIQUE INTÉRIEURE

Approche qualitative et ordre de grandeur sur un cas d’application

Jean-Marie Alessandrini, Maéva Sabre, Letizia Roccamena, Wenjuan Wei

ÉCHANGES THERMIQUES ENTRE LE CORPS ET L'AMBIANCE

Évacuer la chaleur du corps

- **Modification du flux sanguin**
- **La respiration**
- **La perspiration**
- **La transpiration**

Les paramètres de l'ambiances :

- **La T° d'air**
- **La T° des parois**
- **L'humidité**
- **La vitesse d'air**

Seuils sanitaires retenus dans l'étude T opérative :

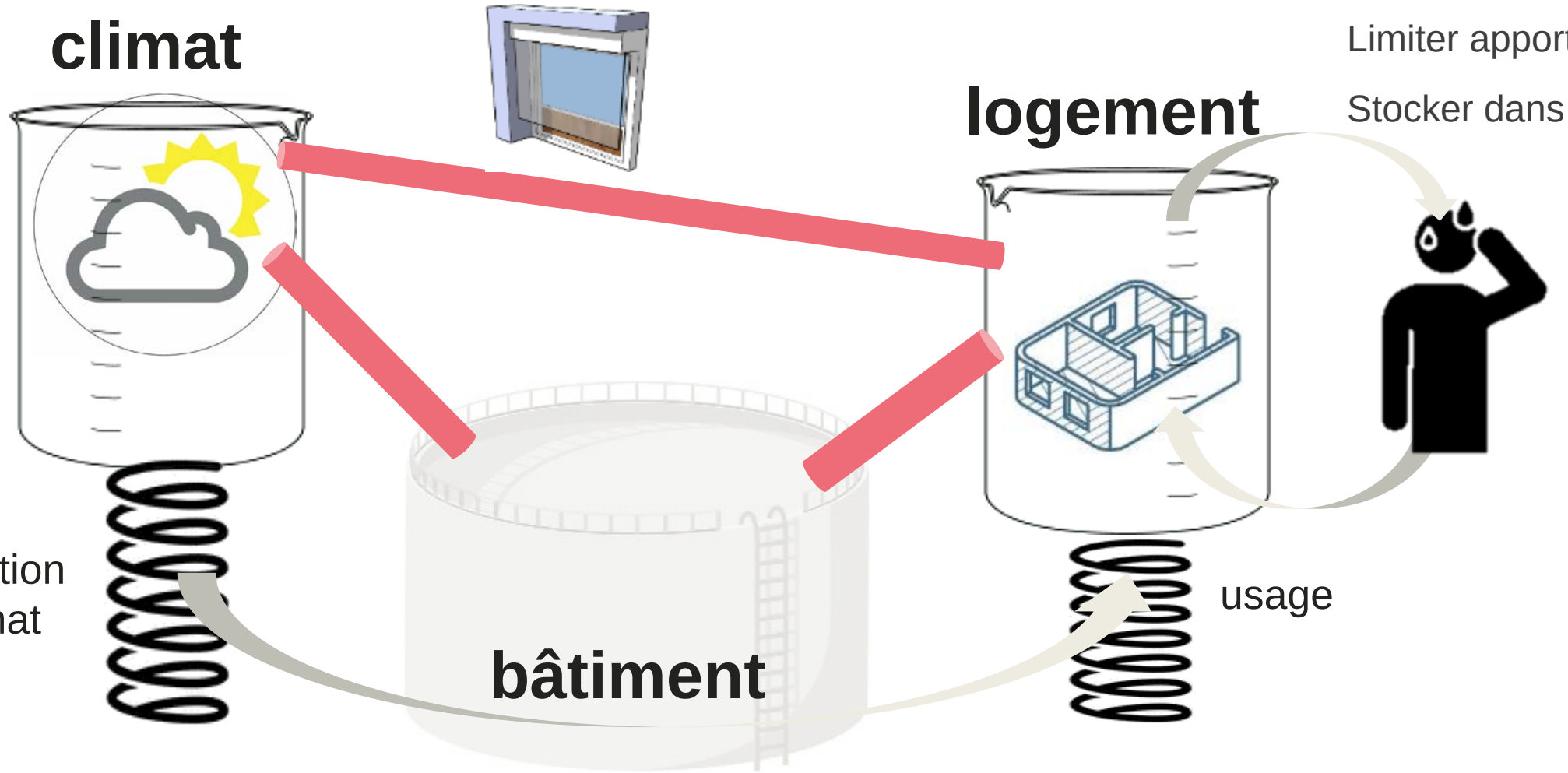
- **30°C le jour**
- **27 °C la nuit**

SE PROTÉGER DE LA CHALEUR LE JOUR

Se protéger de la chaleur

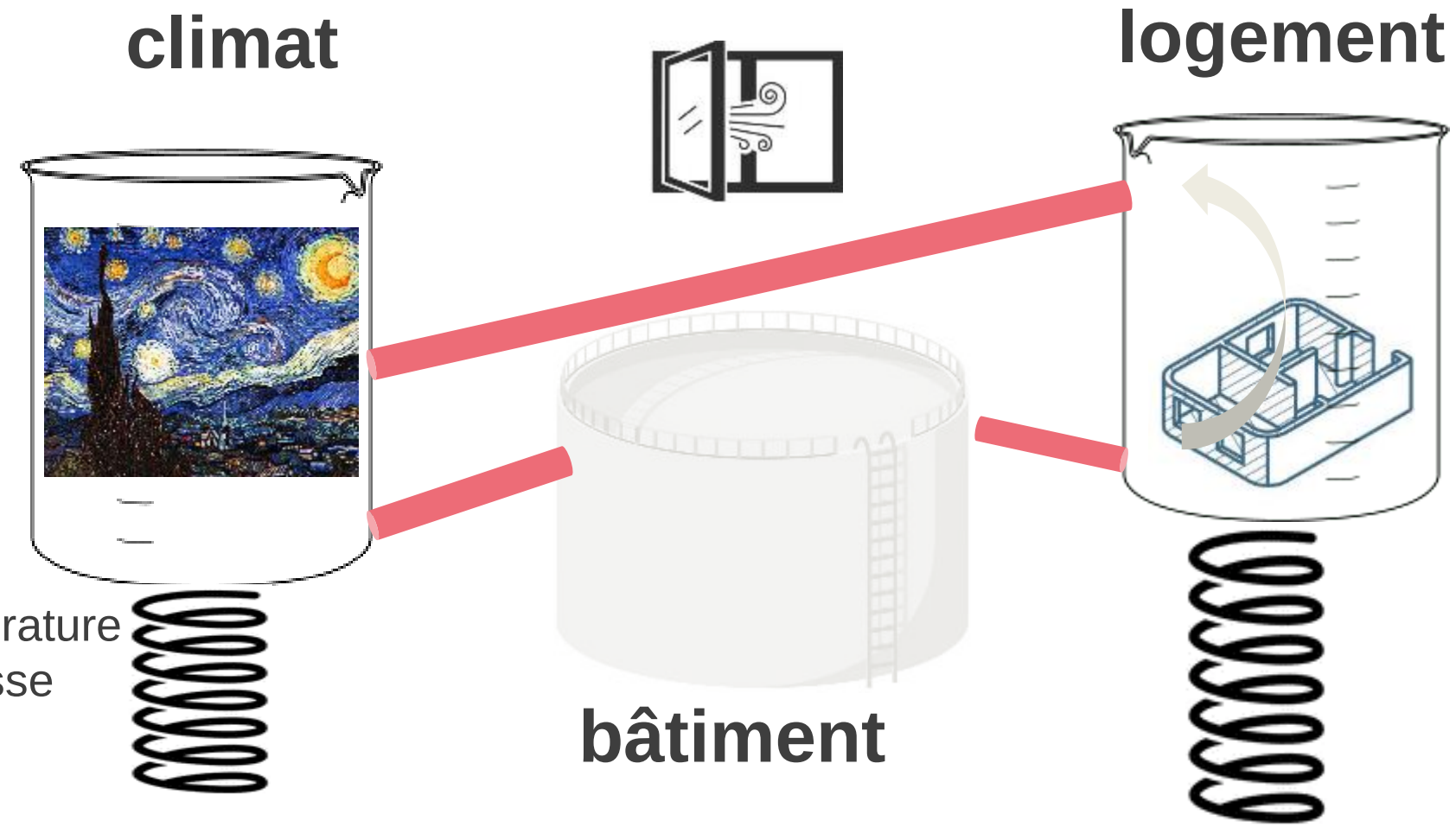
Limiter apports et émissions

Stocker dans le bâtiment



le contrôle des flux dépend de techniques pour « filtrer » le climat et intégrer les usages

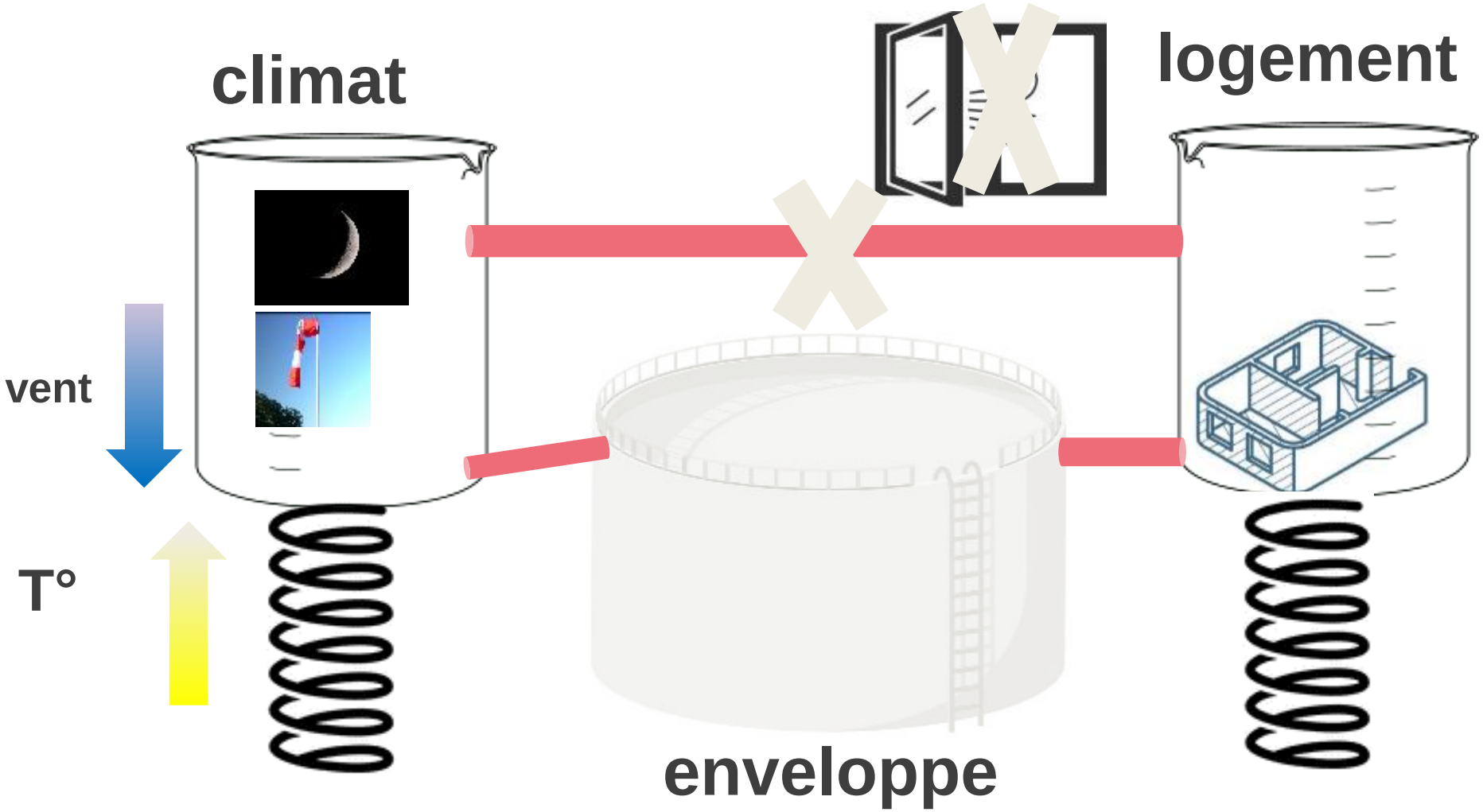
ÉVACUER LA CHALEUR LA NUIT



La nuit, évacuer la chaleur du logement par l'aération

La nuit l'aération refroidit l'ambiance et déstocke la chaleur des parois

L'ICU PÉNALISE L'ÉVACUATION DE LA CHALEUR LA NUIT

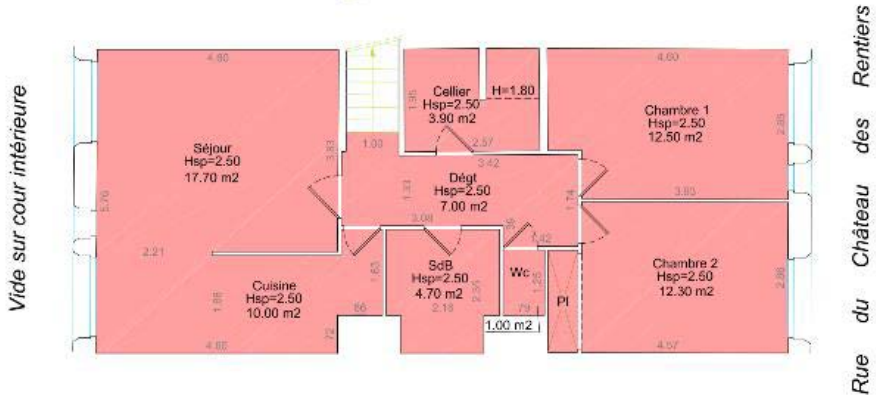


Évacuation de la chaleur limitée :

- T° extérieure et intérieure proche
- Vent faible
- Phénomène qui dure

Potentiel de rafraichissement restreint : vent faible et T° élevée la nuit

ILLUSTRATION : LOGEMENT 1960-1974 PARIS

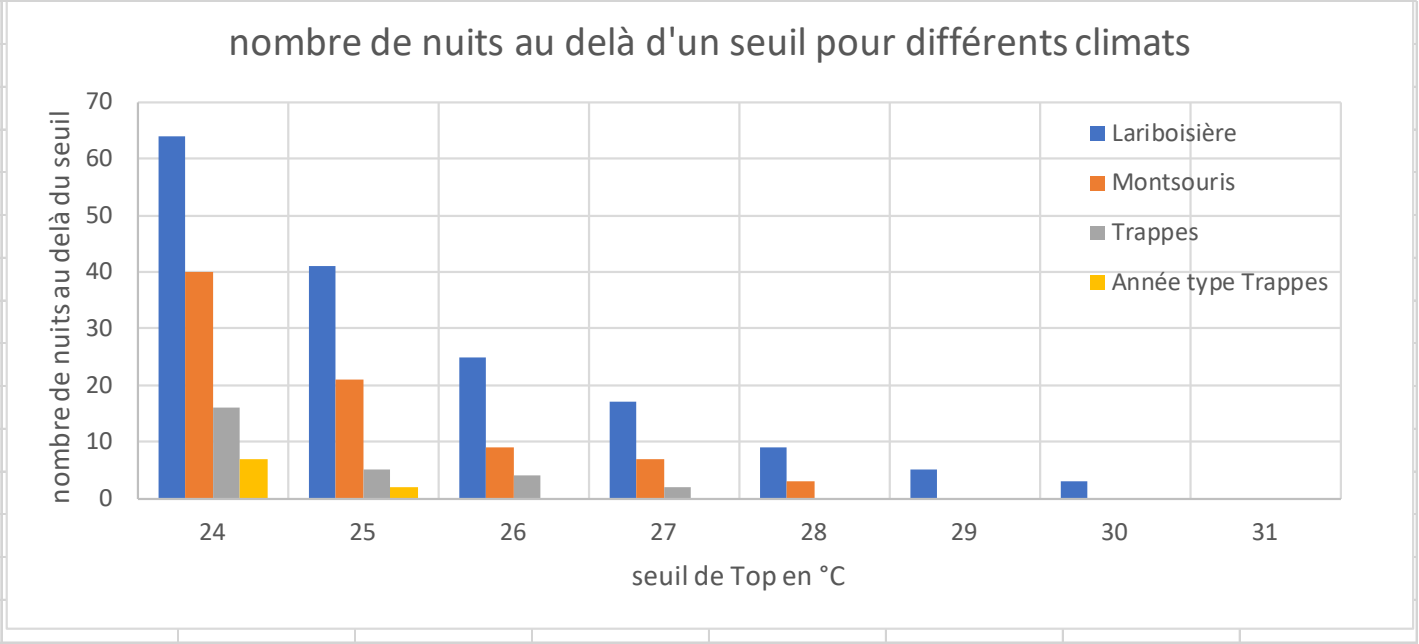


Paramètres du bâtiment	Description
logement Paris 13ème	« Grand ensemble » type
Période de construction	1960-1974
Taille, position du logement	T3, traversant, niveau intermédiaire
Surface habitable/volume	71.1 m²/177.75 m3
Défaut d'étanchéité	2.3 q4pa m3/h sous 4pas/m² par surface de parois déperditives
Surface des murs (opaques)	18.9m²
Surface des fenêtres sud ouest	5.25m²
Surface des fenêtres nord est	5.25 m²
Protections solaires	Volets blancs opaques
structure	Voile béton 16 cm, dalle 20 cm
Rénovation isolation	Isolation extérieure PSE 10 cm

AMBIANCES THERMIQUES INTÉRIEURES SIMULÉES POUR DIFFÉRENTES MÉTÉOS OBSERVÉES

Nombre de nuits au dessus d'un seuil de Top, calculé pour 3 stations météorologiques :

- **Rurale : Trappes (2022)**
- **Parc urbain : Montsouris(2022)**
- **Quartier urbain : Lariboisière(2022)**
- **Rurale année type : (1994-2009)**

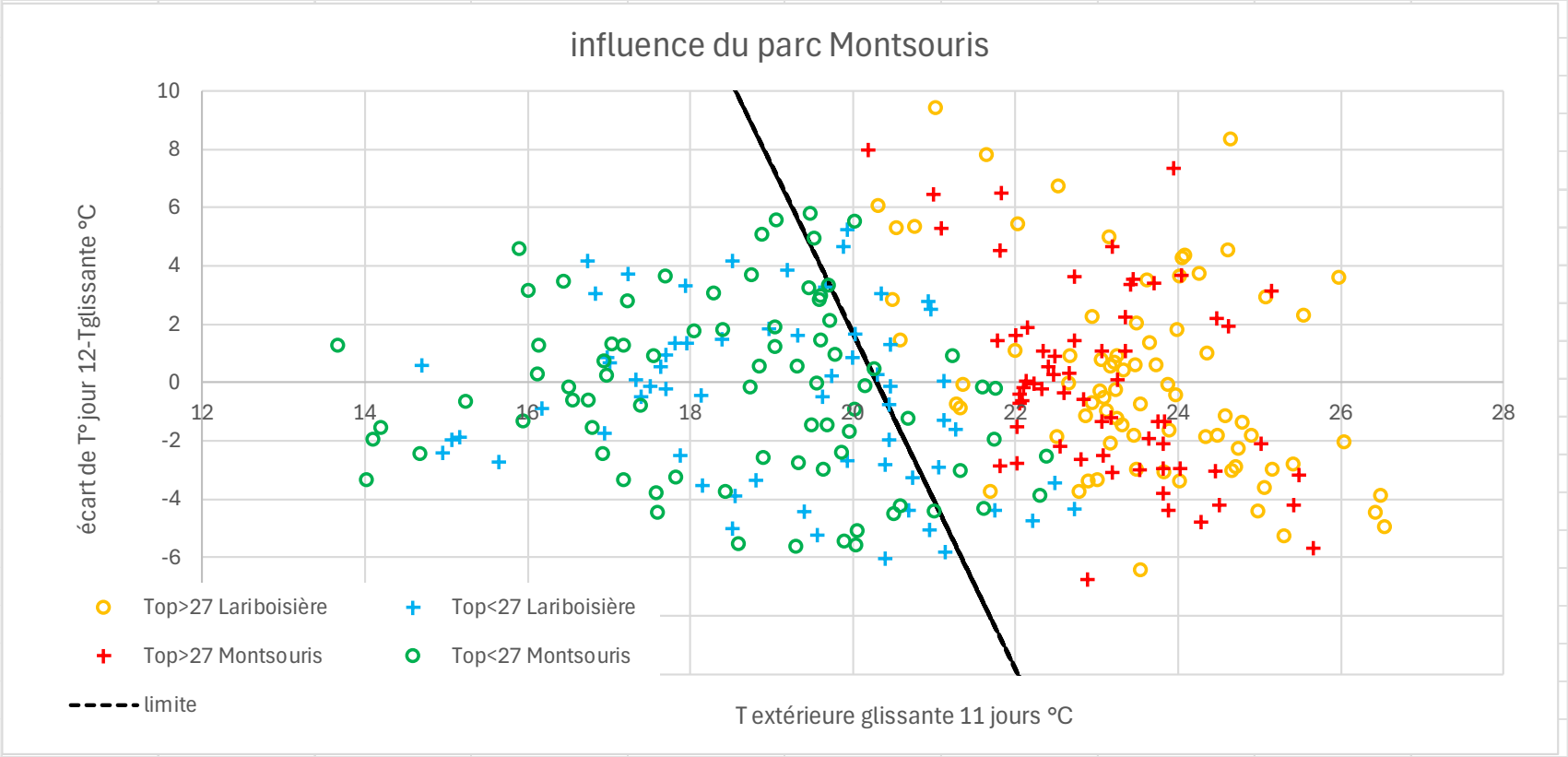


Année Type-rurale (jaune)	Montsouris-parc urbain (orange)	Ville Lariboisière (bleu)
Top max < 26°C	Top max < 29°C	Top max < 31°C
7 nuits avec au moins 1heure Top>24°C	7 nuits avec au moins une heure >27°C	19 nuits avec au moins une heure avec Top>27°C

INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION, ÉTÉ 2022

Hypothèses:

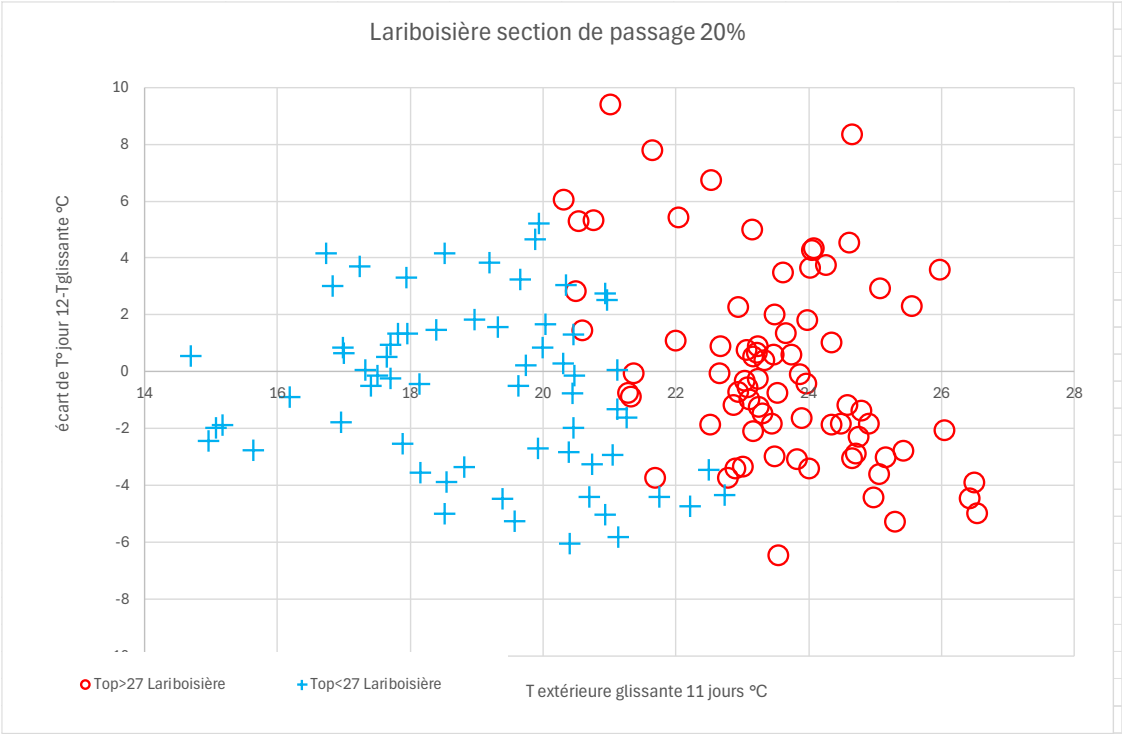
- Section de passage 20% de la surface vitrée
- Vitesse de vent : 0,5 m/s calme à très légère brise

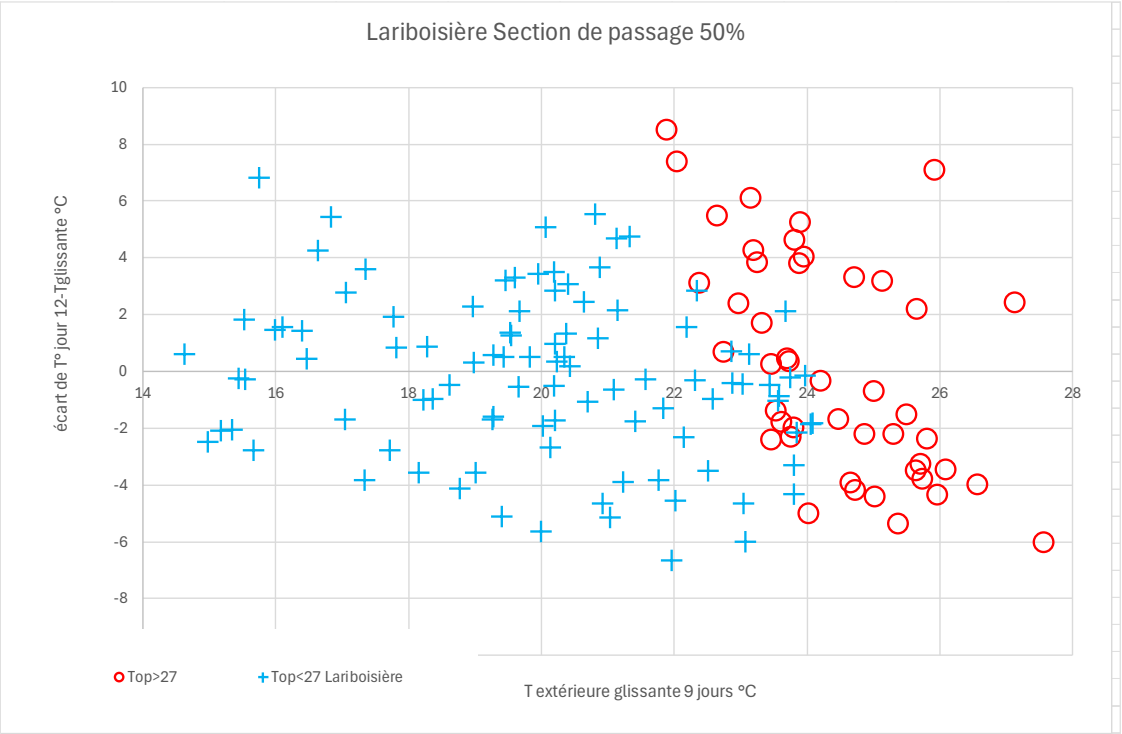


% de nuits avec Top>27°C

- Lariboisière (ronds jaunes): 55%
- Montsouris (croix rouges) : 44%

INFLUENCE DE LA SECTION DE PASSAGE, LARIBOISIÈRE VENT 0,5 M/S

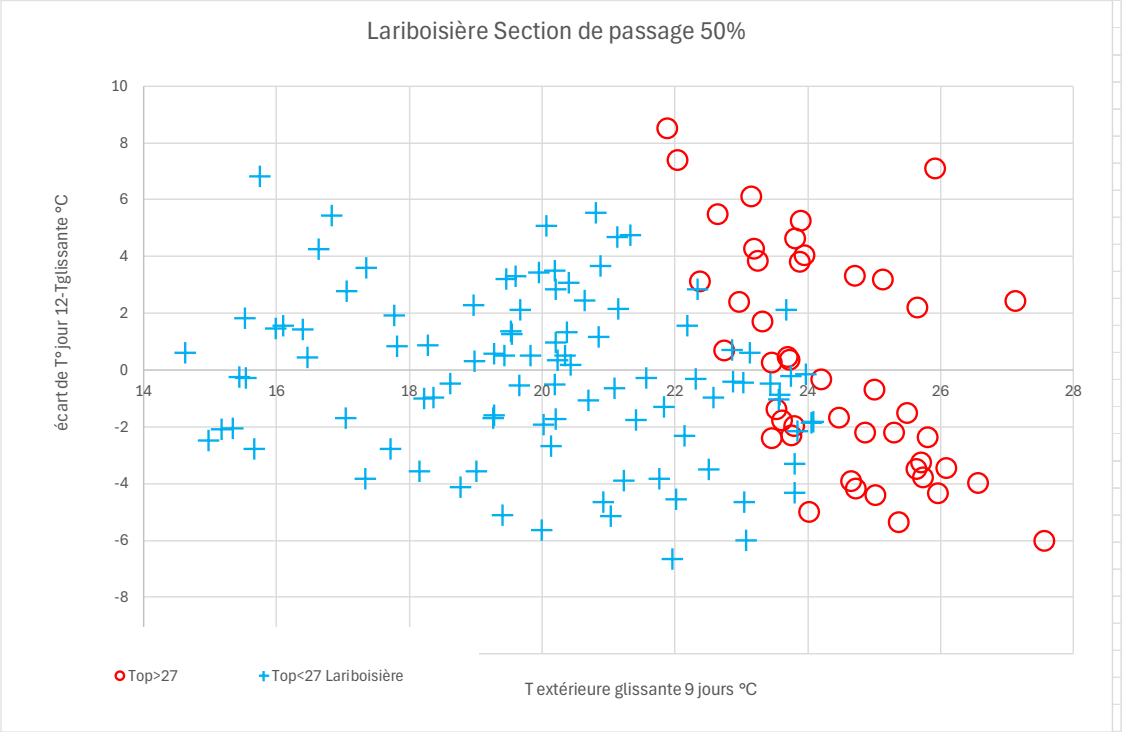


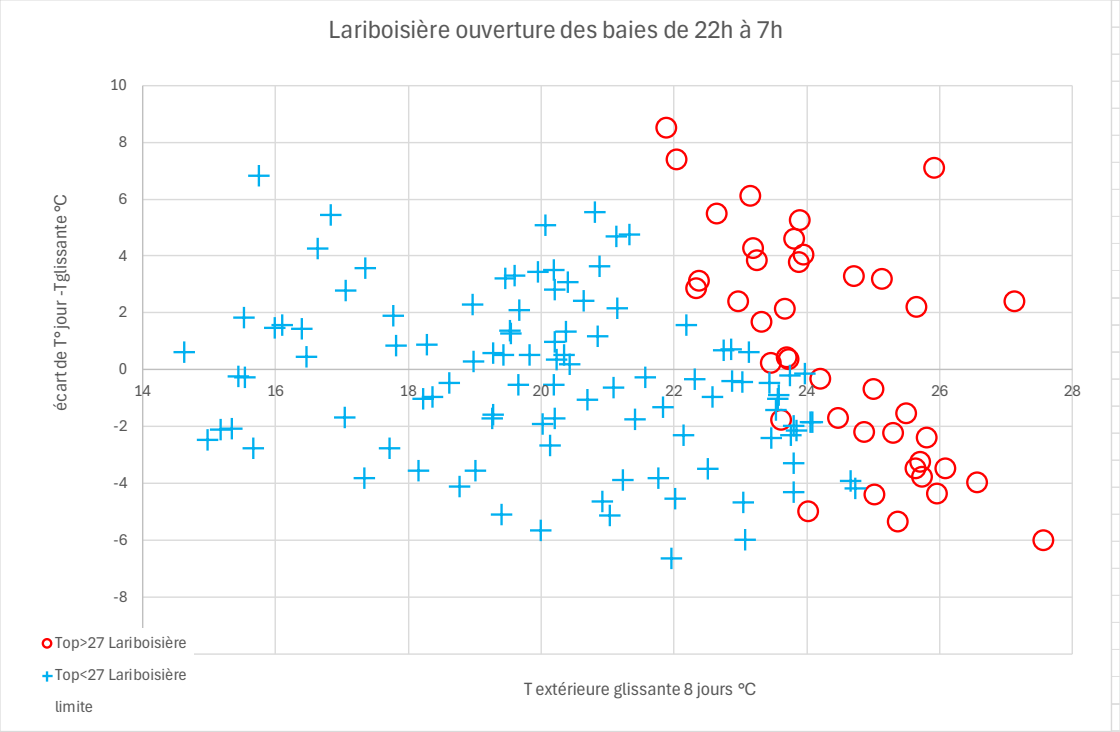


Section de passage : 20 %
% de nuit avec Top>27°C: 55%

Section de passage 50 %
% de nuit avec Top>27°C: 32%

INFLUENCE DE LA PÉRIODE D'AÉRATION, LARIBOISIÈRE





- Section de passage : 50 %
- Vent faible

Ouverture de 23 à 8h

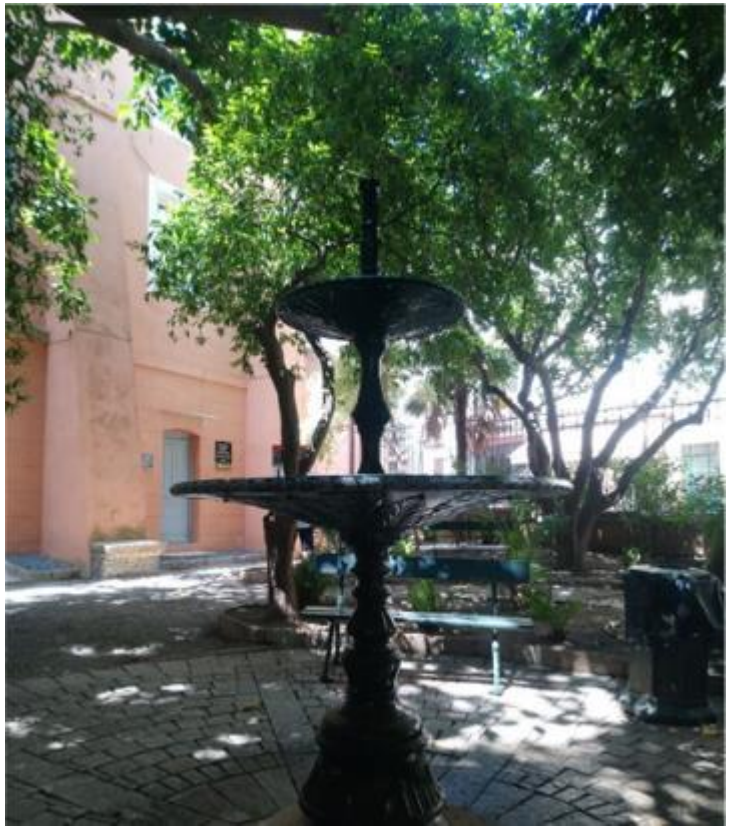
% de nuit avec Top>27°C: 32%

- Section de passage : 50 %
- Vent faible

Ouverture de 22 à 7h

% de nuit avec Top>27°C: 28%

S’ADAPTER : À CHAQUE DIMENSION SA CONTRIBUTION, le quartier



Bastia

Réduire les nuisances à la source:

- Réduire la température
- Réduire les nuisances sonores

Berlin

S’ADAPTER : À CHAQUE DIMENSION SA CONTRIBUTION, le logement

Paris

Berlin

Créteil

Aix la Chapelle

S’ADAPTER : À CHAQUE DIMENSION SA CONTRIBUTION, l’occupant

Innsbruck

En été, nous vous demandons d'aérer uniquement le matin et le soir ! Veuillez garder les fenêtres et les stores fermés pendant la journée ! Merci !

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Au regard des recommandations actuelles (OMS), l'enjeu c'est la nuit

L'ICU : frein à l'évacuation de la chaleur la nuit (nuit chaudes vent faible)

L'adaptation se fait à différentes échelles spatiales

Les réponses techniques ont des limites : les connaitre pour sécuriser les occupants

Des travaux à approfondir:

- **Les indicateurs et les seuils sanitaires notamment la nuit**
- **Le calcul du renouvellement d'air est approché, leur estimation précise est délicate dépend de nombreux paramètres météorologiques, du bâtit et des usages.**
- **La détermination des limites de fonctionnement**
- **établir les probabilités d'occurrence sur de longues périodes pour fiabiliser les solutions techniques**

SÉQUENCE C

Parole au grand Témoin

Retour d'expérience : Jeux Olympiques de Paris 2024

En quoi et comment la prise en compte du confort d'été a été un enjeu pour la conception du Village Olympique (athlètes...) et pour les sites de forte fréquentation du public ?

- **Valéry MASSON,** Auteur principal pour le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les villes, *CNRM Météo France*

SÉQUENCE C

Le défi Solutions rafraichissement/protection : espace vert et logement

- **Martial HAEFFELIN,** Directeur Adjoint, *Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), projet H2C*
- **Jean-Marie ALESSANDRINI,** Ingénieur - Direction Energie Environnement, *Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), projet H2C*

- **Nicolas HERBRETEAU,** Responsable Environnement Extérieur / Pilotage du PRSE Île-de-France, *Agence régionale de santé Île-de-France (ARS)*
- **David LEBANNIER,** Associé et Responsable d'activité R&D, *Pouget Consultants*
- **Léa MORFOISSE,** Cheffe du département Adaptation et Résilience, *Ville de Paris*

Grand témoin

- **Valéry MASSON,** Auteur principal pour le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les villes, *CNRM Météo France*

pouget
Consultants

SÉQUENCE C

Le défi Solutions rafraichissement/protection : espace vert et logement

- **Martial HAEFFELIN,** Directeur Adjoint, *Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), projet H2C*
- **Jean-Marie ALESSANDRINI,** Ingénieur - Direction Energie Environnement, *Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), projet H2C*

- **Nicolas HERBRETEAU,** Responsable Environnement Extérieur / Pilotage du PRSE Île-de-France, *Agence régionale de santé Île-de-France (ARS)*
- **David LEBANNIER,** Associé et Responsable d'activité R&D, *Pouget Consultants*
- **Léa MORFOISSE,** Cheffe du département Adaptation et Résilience, *Ville de Paris*

Grand témoin

- **Valéry MASSON,** Auteur principal pour le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les villes, *CNRM Météo France*

SÉQUENCE C – Échanges avec la salle

Le défi Solutions rafraichissement/protection : espace vert et logement

- **Martial HAEFFELIN,** Directeur Adjoint, *Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), projet H2C*
- **Jean-Marie ALESSANDRINI,** Ingénieur - Direction Energie Environnement, *Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), projet H2C*

- **Nicolas HERBRETEAU,** Responsable Environnement Extérieur / Pilotage du PRSE Île-de-France, *Agence régionale de santé Île-de-France (ARS)*
- **David LEBANNIER,** Associé et Responsable d'activité R&D, *Pouget Consultants*
- **Léa MORFOISSE,** Cheffe du département Adaptation et Résilience, *Ville de Paris*

Grand témoin

- **Valéry MASSON,** Auteur principal pour le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les villes, *CNRM Météo France*