

Revêtements et surchauffe urbaine



Martin Hendel

Wébinaire Adaptaville

11 février 2025

SciencesPo
LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE
D'ÉVALUATION DES POLITIQUES PUBLIQUES

L'équipe Climat Energie en Milieu Urbain

Equipe : 6 ens.-chercheurs permanents, 7 thèses en cours (+1 postdoc à partir de mars)



Porteur de la thématique **Rafrâichissement urbain**

Thèses "Rafrâichissement urbain" (8) :

- S. Parison (2017-2020) : Arrosage urbain
- G. Karam (2019-2023) : Cours OASIS
- M. Chaumont (2019-2023) : Toitures réfl. et arrosées
- M. Chaniel (2020-2024) : Revêtements urbains *in situ*
- M. Frere (2020-2025) : Matériaux routiers
- C. Abboud (2023-2026) : Rev. et forêts urbains
- J. Kamara (2023-2026) : Stress thermique mobile
- A. Girier-Timsit (2024-2027) : Thermique et phys. des plantes

Postdocs (5) :

- R. Herbaut (2019-2020) : Projet E3S
- S. Parison (2020-2022) : Démonstrateur VdP
- N. Sellila (2022-2024) : PRRD Sense-City
- M. Chaumont (2024) : LUTECE + LEM VdP
- M. Chaniel (2025-2026) : Projet Cool Street



Facette urbaine *in situ*
(mur, toiture, revêtement)



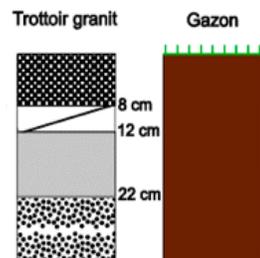
Bâtiment, rue,
quartier



Ville,
agglomération



Matériaux
urbains



So what is an Urban Heat Island Anyway?



Luke Howard
1772-1864
“Namer of Clouds”



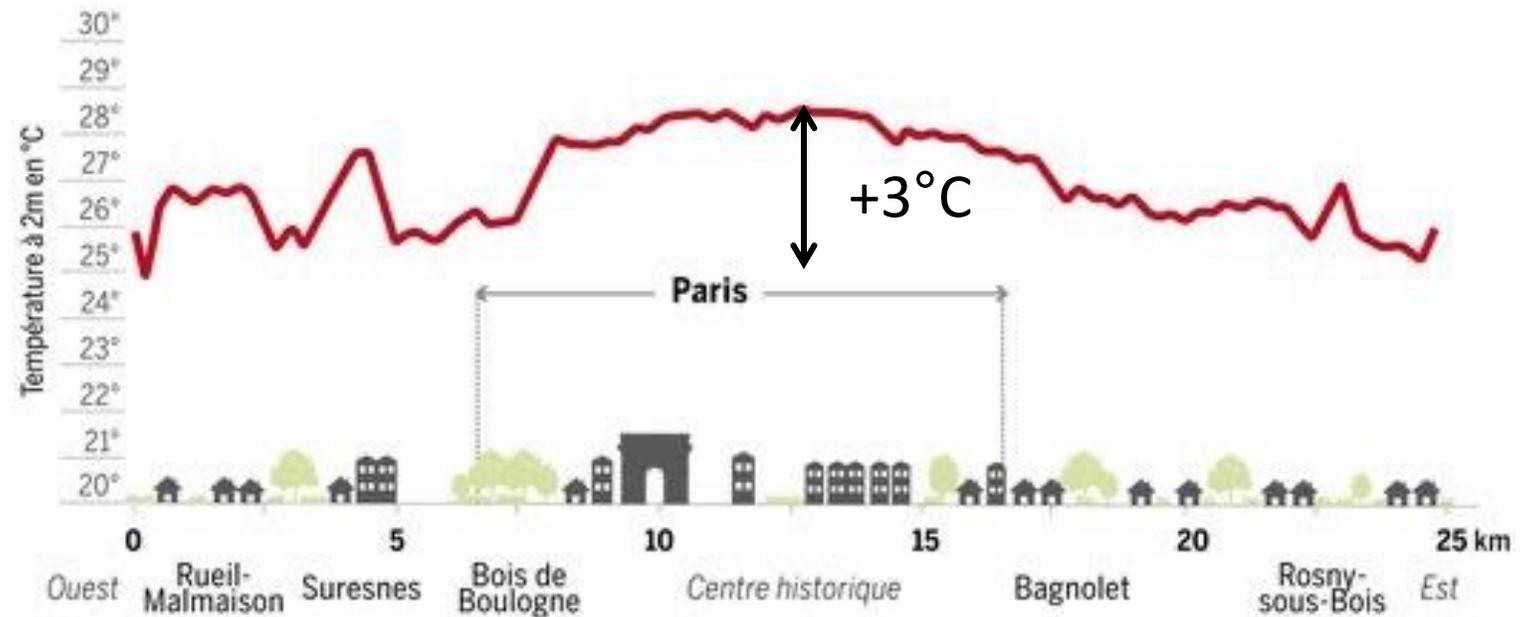
Source : www.coolcommunitiesflorida.com

ICU Parisien

Phénomène de réchauffement localisé des villes

Ordre de grandeur :

$$T_{\text{urbain}} - T_{\text{rural}} = +3^{\circ}\text{C}$$



SOURCES : MÉTÉO FRANCE ; CSTB ; MAIRIE DE PARIS

ICU Parisien

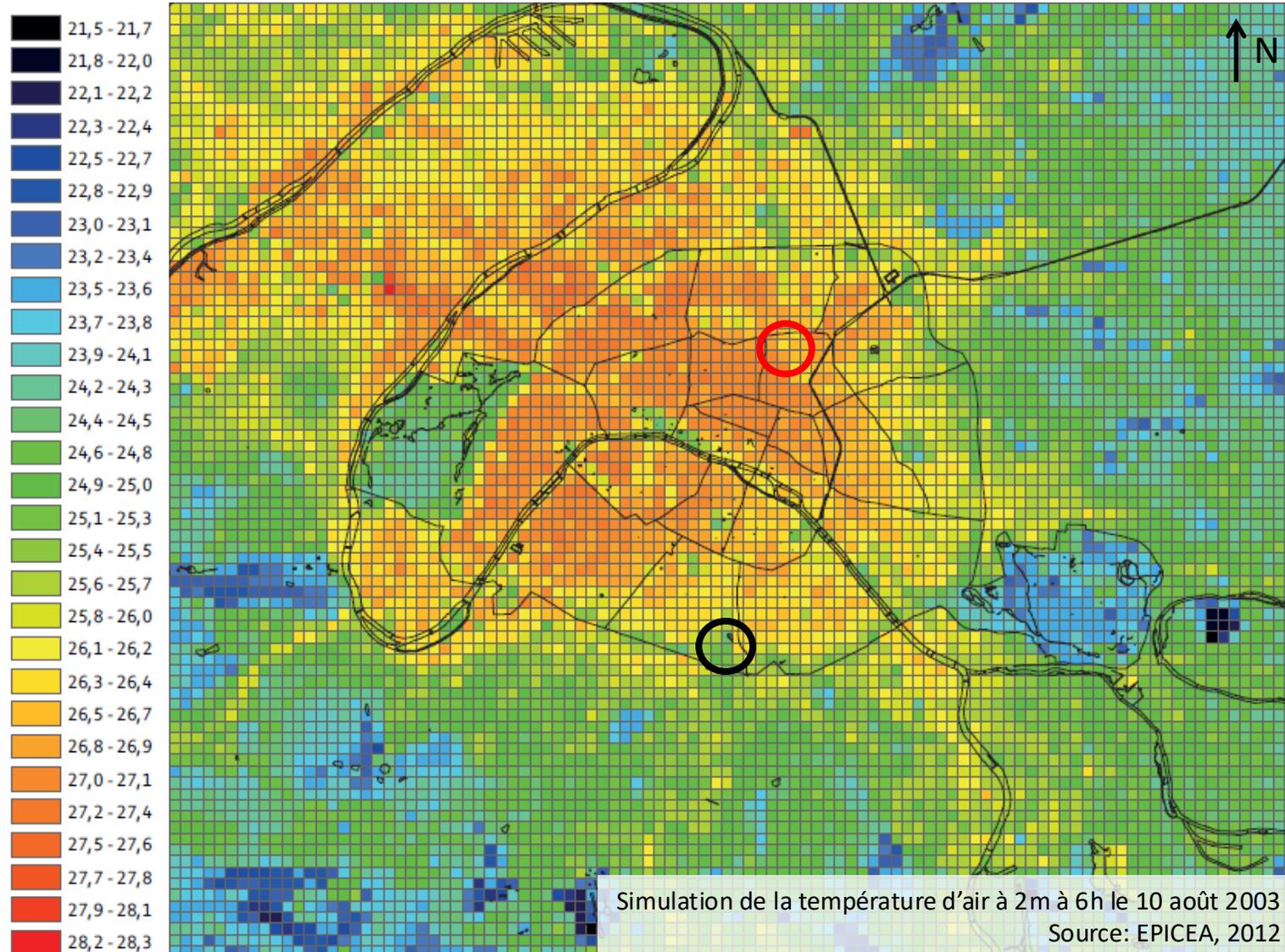
Phénomène de réchauffement localisé des villes

Ordre de grandeur :

$$T_{\text{urbain}} - T_{\text{rural}} = +3^{\circ}\text{C}$$

Fortement amplifiés lors de conditions anticycloniques...

$$T_{\text{urbain}} - T_{\text{rural}} \text{ jusqu'à } \del{8^{\circ}\text{C}} \\ 12^{\circ}\text{C}$$



ICU : Mécanismes

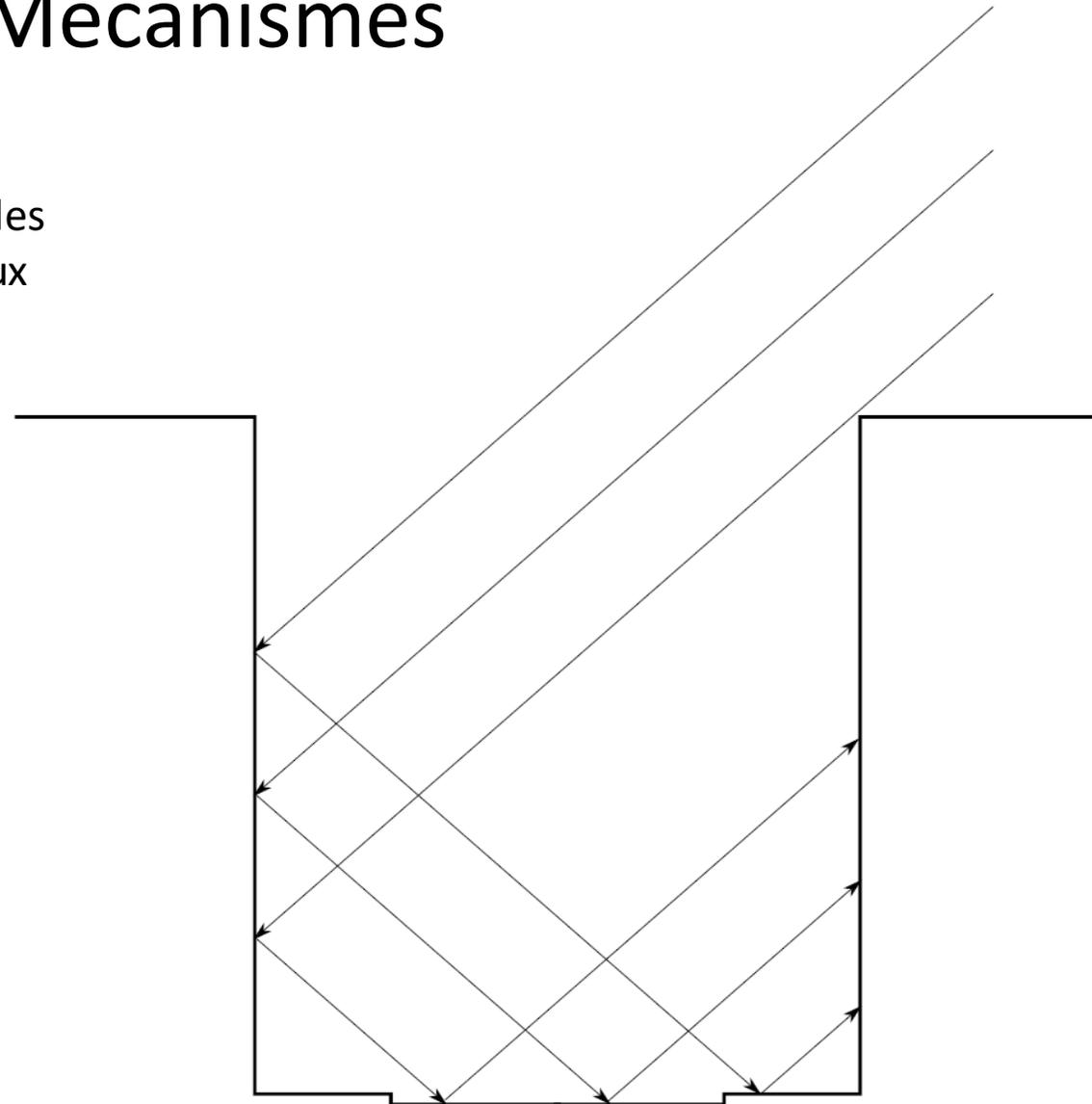
Piégeage radiatif

+ Inertie des matériaux

Manque d'évapotranspiration

Obstruction du vent

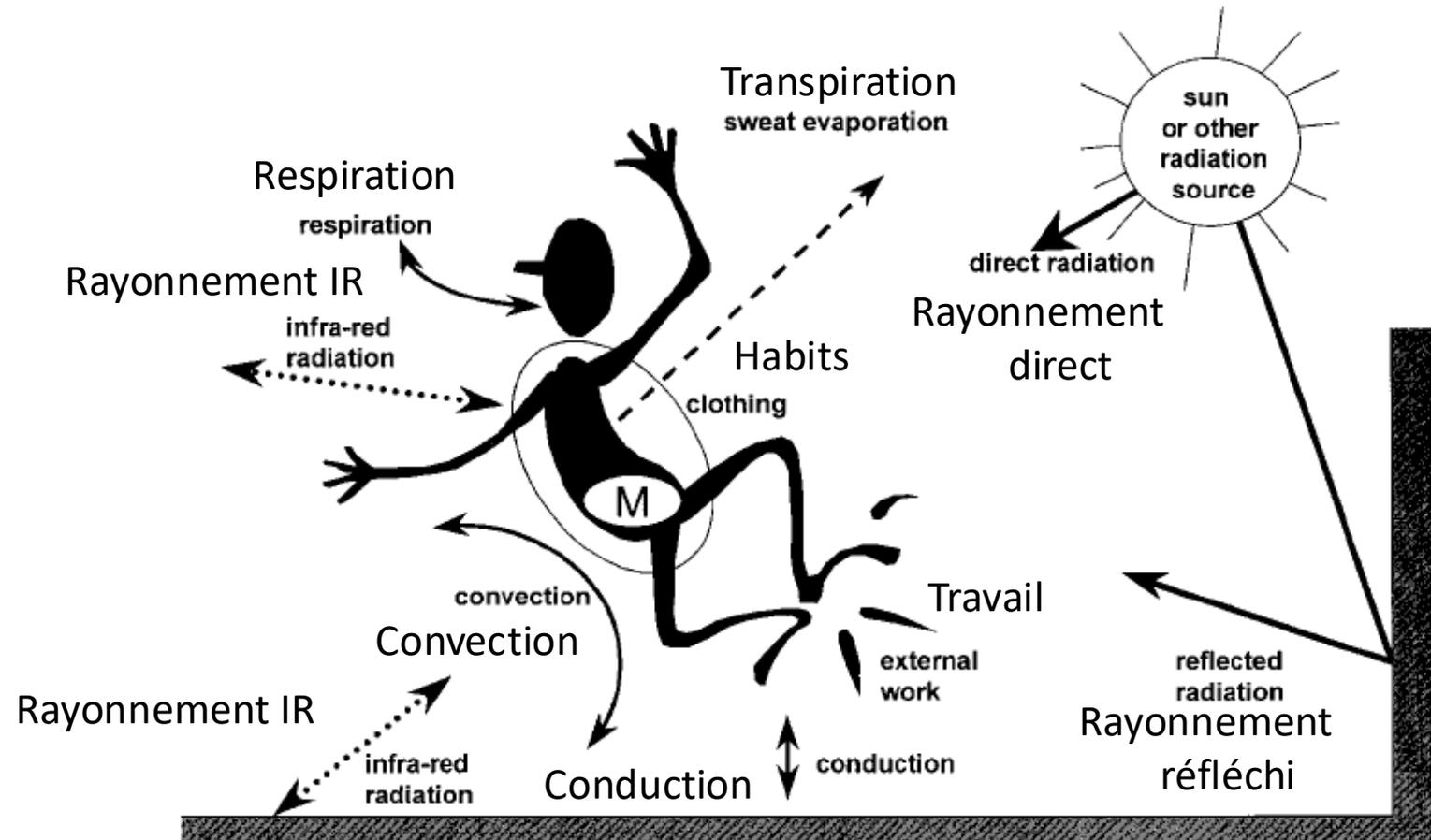
Chaleur anthropique



Stress thermique

Il s'agit d'un état physiologique dans lequel le corps humain doit fournir un effort pour réguler sa température.

Il dépend des échanges de chaleur avec l'environnement que le corps doit compenser.

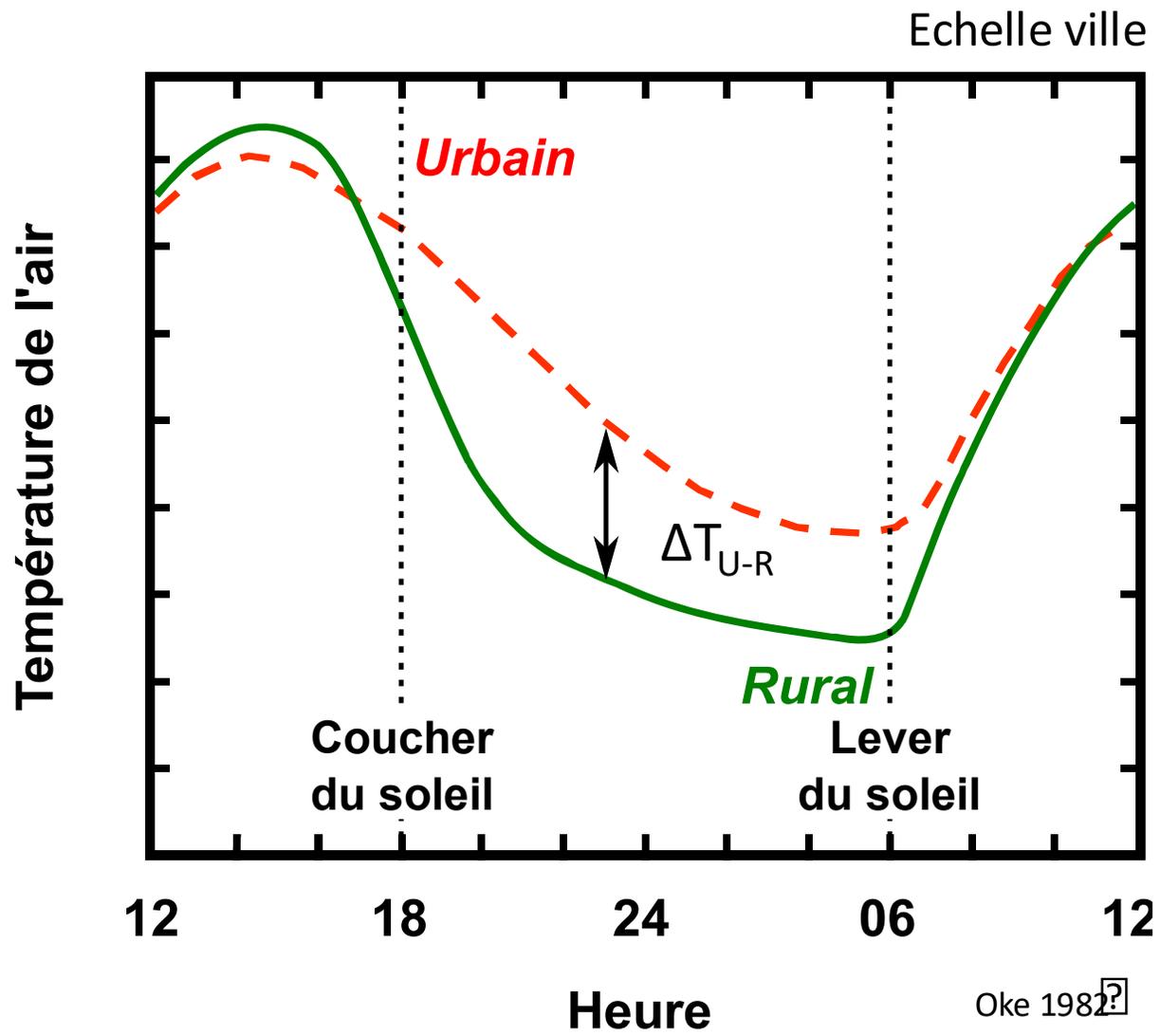


M : activité métabolique

Havenith et al. 1999

Forte variabilité spatiale et temporelle de l'ICU et du stress thermique

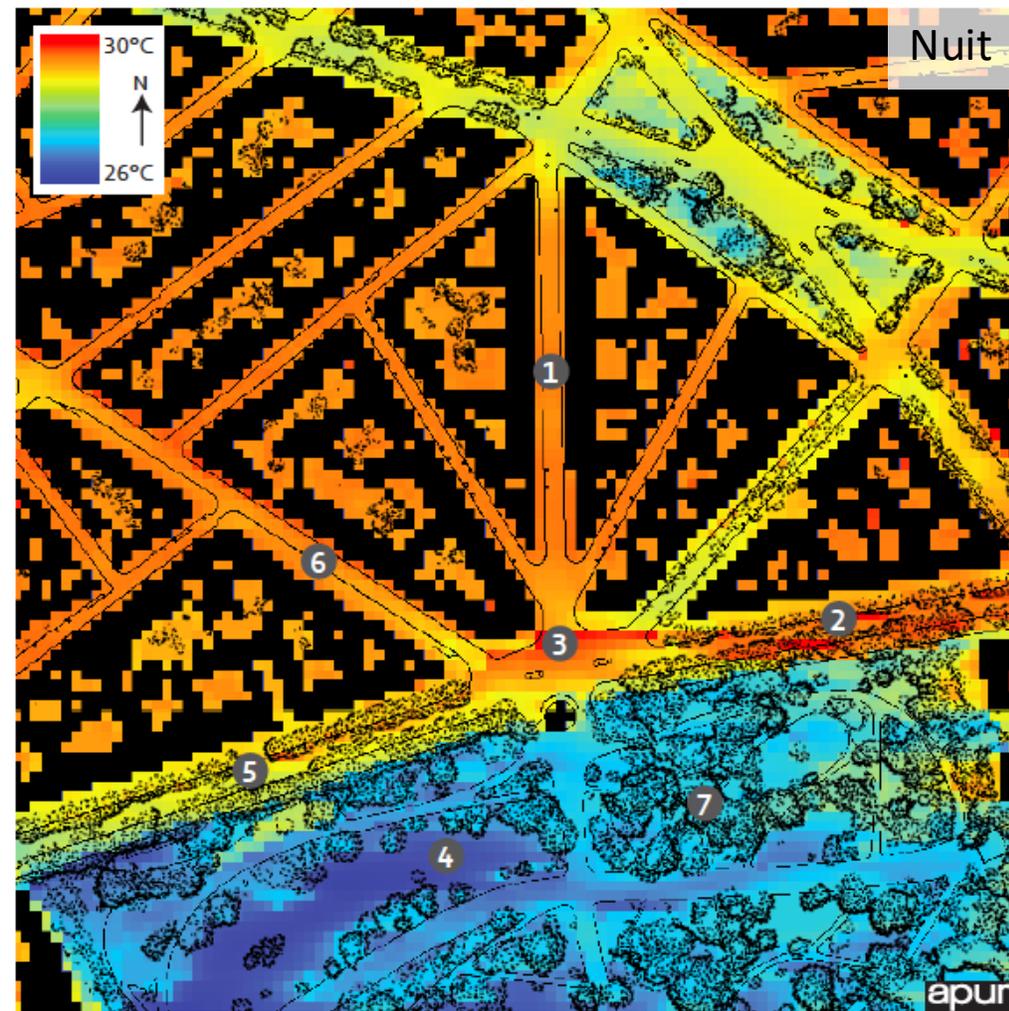
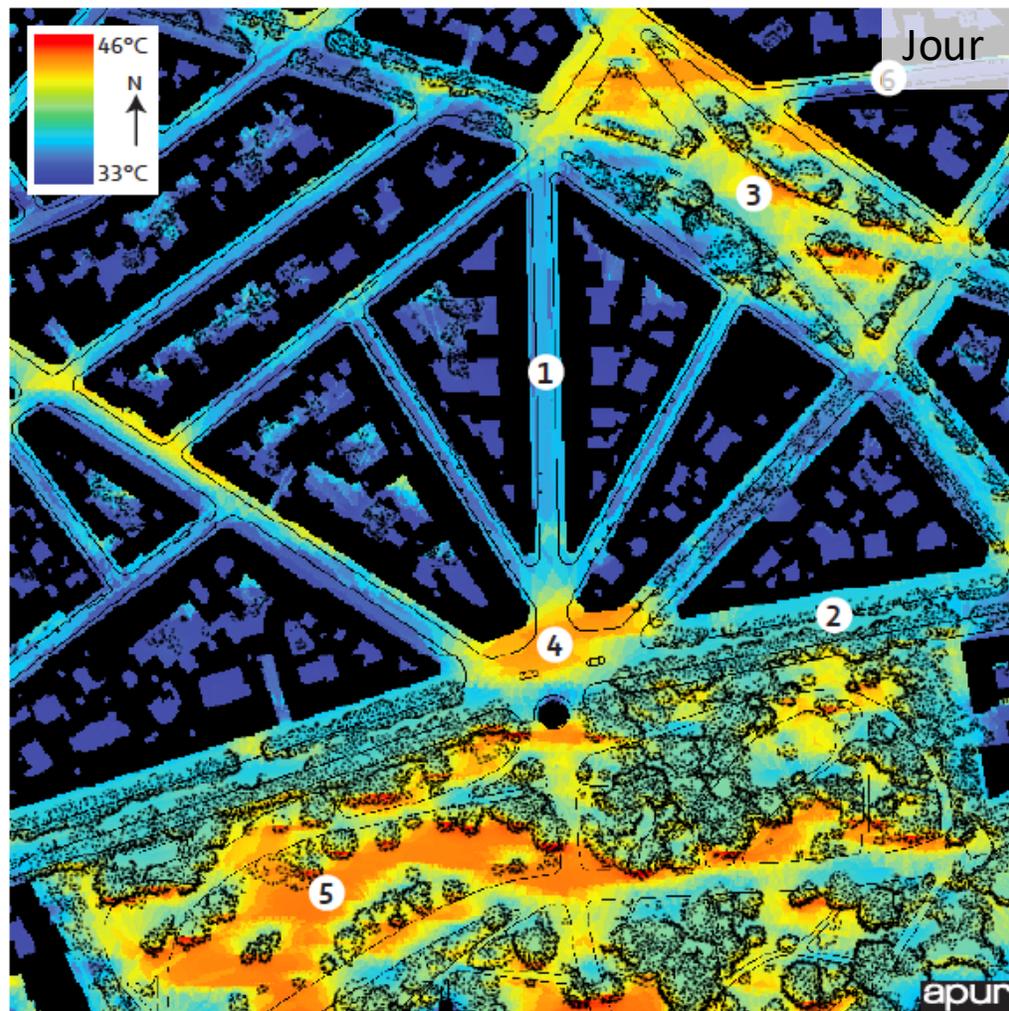
Variabilité temporelle : ICU



Oke 1982

Variabilité : stress thermique

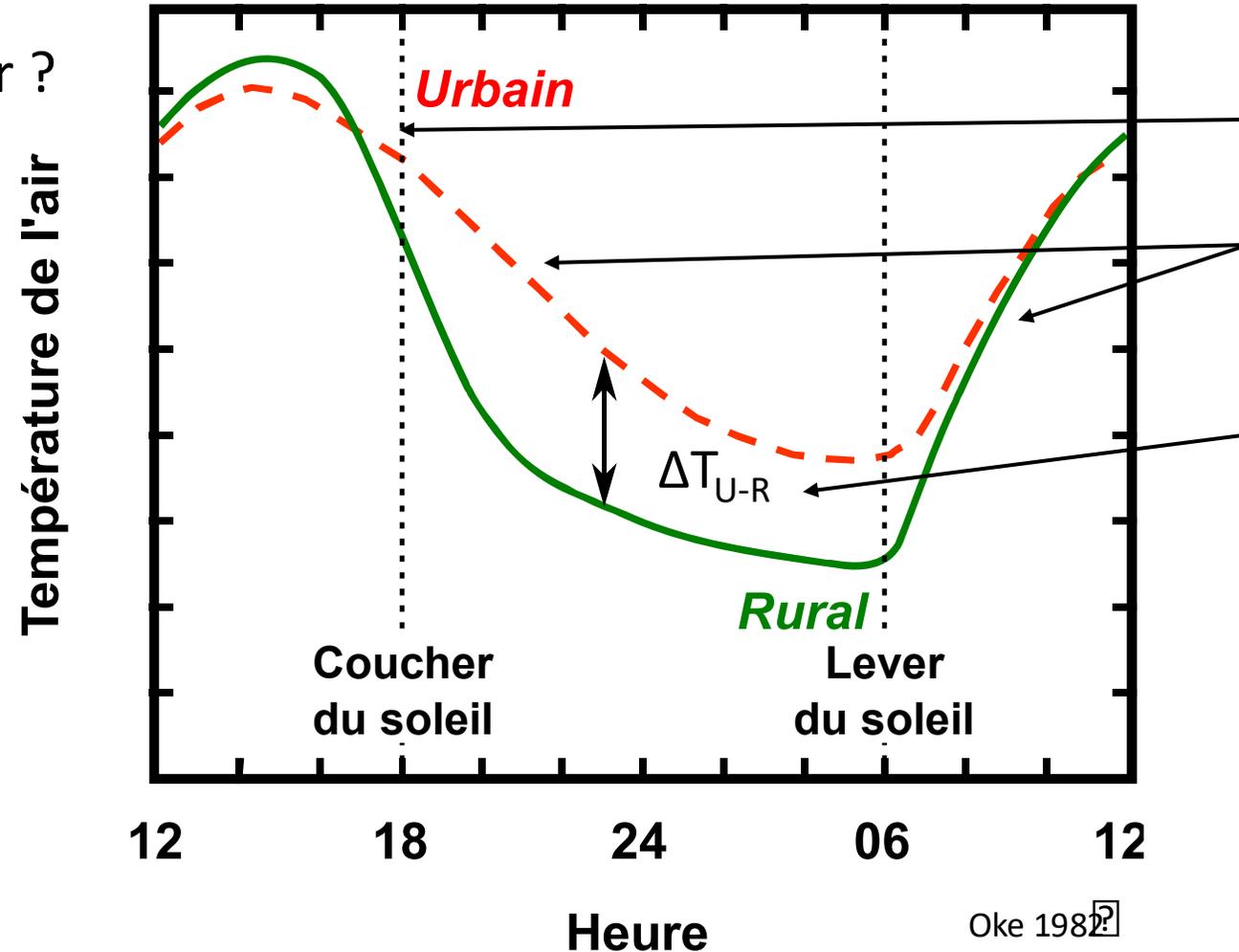
Echelle rue/piéton



Quel est l'objectif ?

ICU et/ou stress thermique ?

Intérieur ou extérieur ?



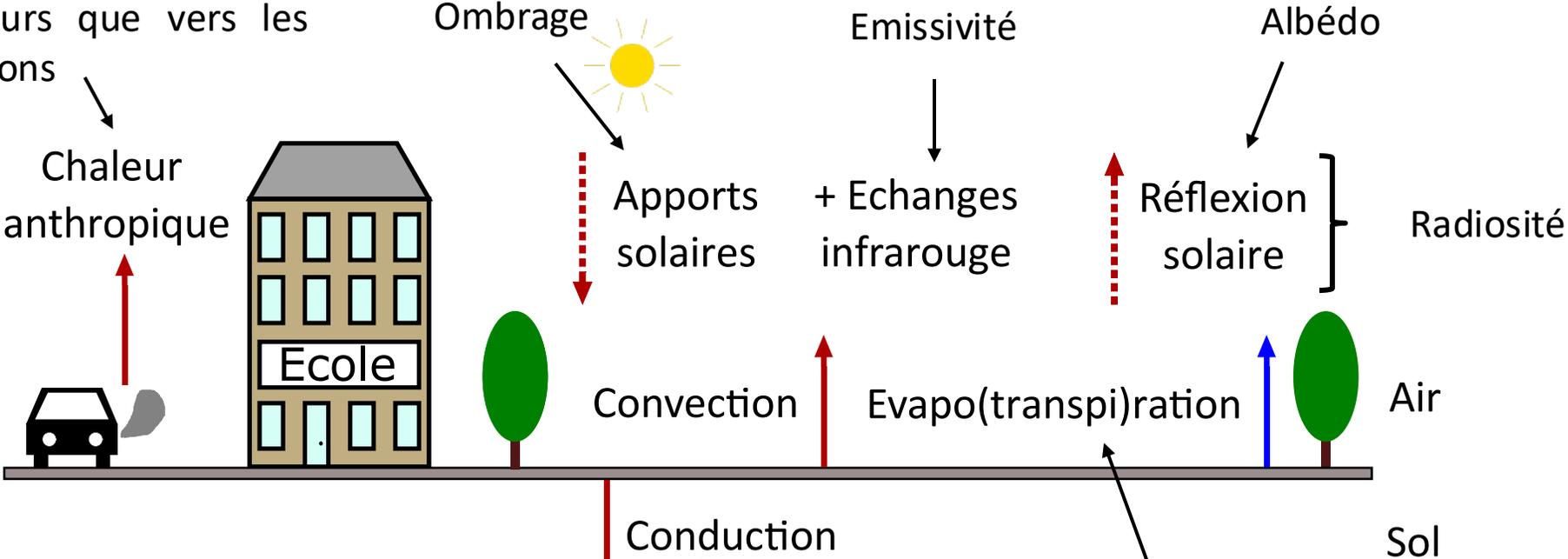
Pic de chaleur ?

Autre(s) période(s) ?

Pic d'ICU ?

Solutions techniques

Efficacité énergétique et orienter les rejets ailleurs que vers les piétons



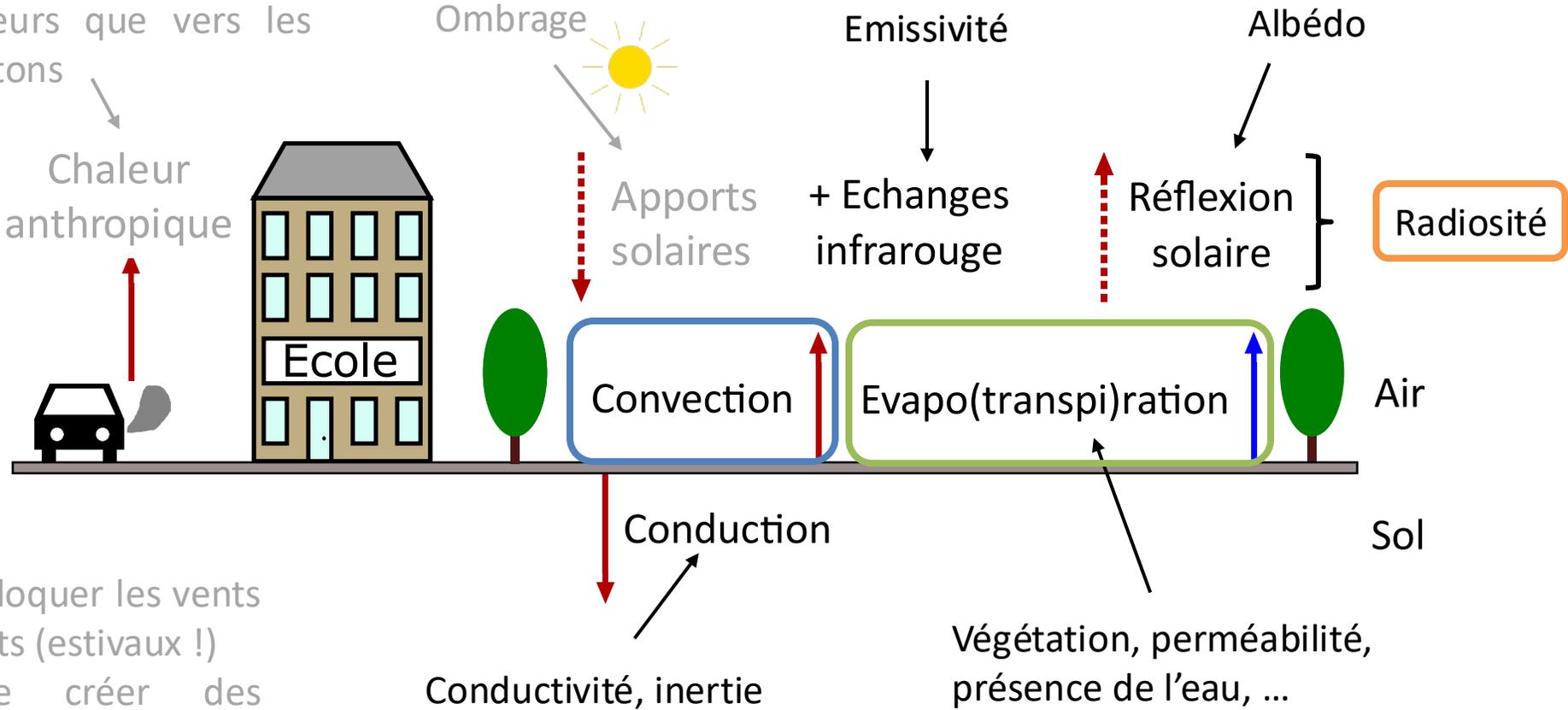
Ne pas bloquer les vents dominants (estivaux !)
... voire créer des couloirs de vent

Conductivité, inertie

Végétation, perméabilité, présence de l'eau, ...

Solutions techniques : matériaux urbains

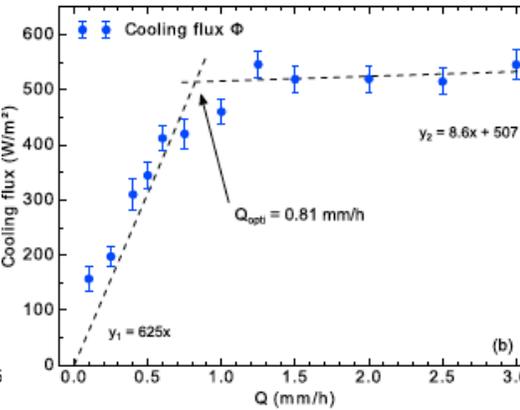
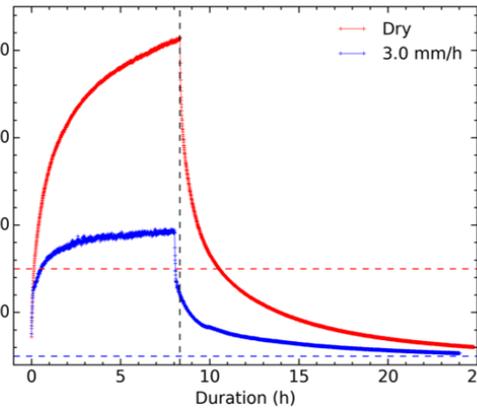
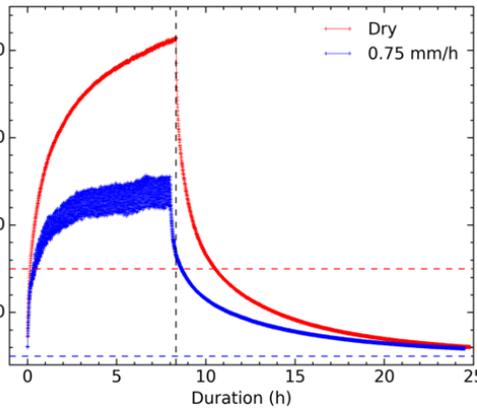
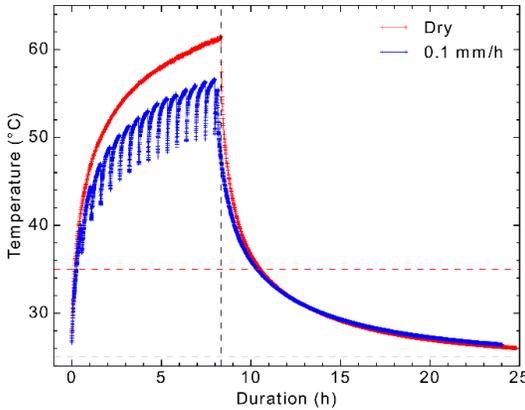
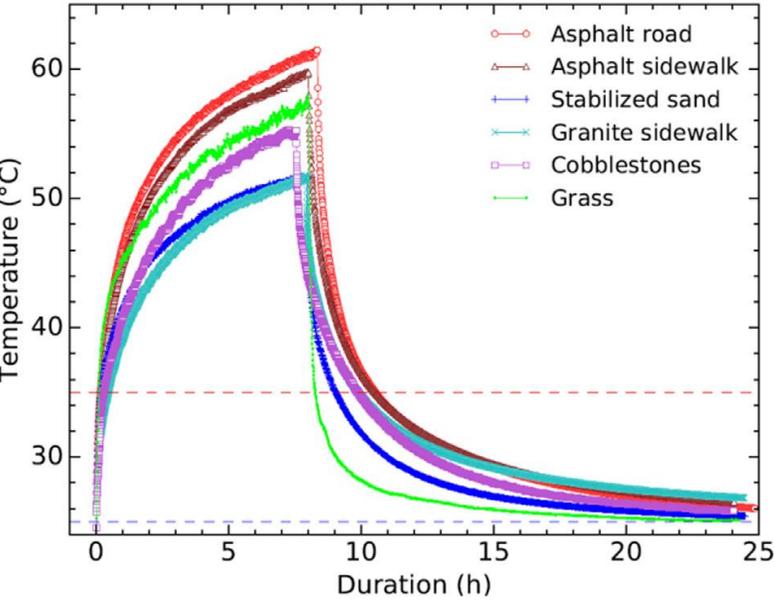
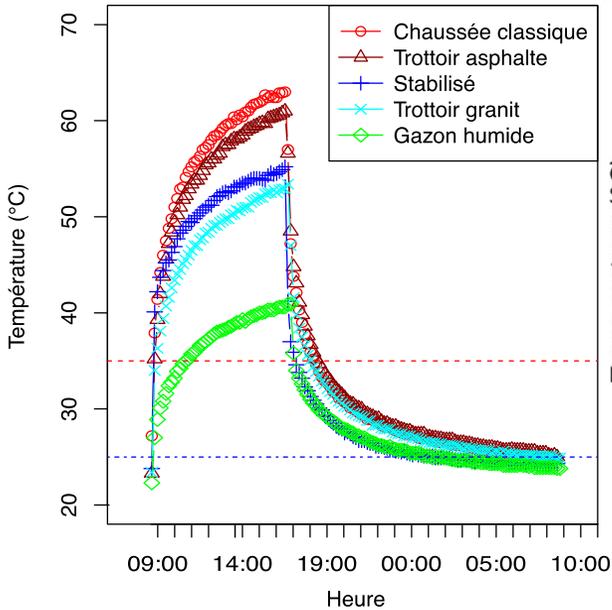
Efficacité énergétique et orienter les rejets ailleurs que vers les piétons



Ne pas bloquer les vents dominants (estivaux !)
... voire créer des couloirs de vent

Bilan : Matériaux urbains

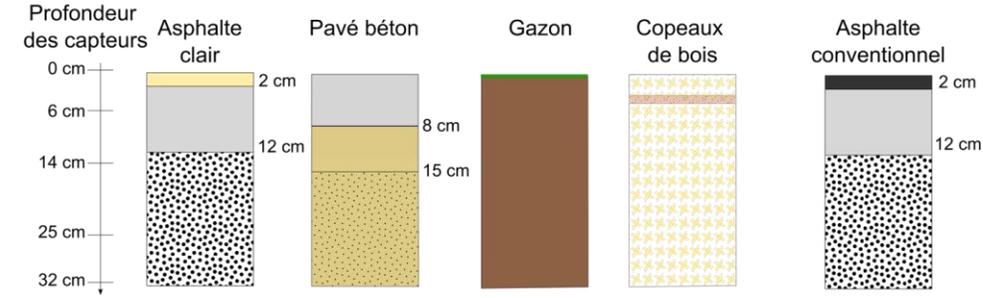
→ Quels matériaux les plus performants ?
 Gazon ... avec de l'eau idéalement (merci Martin)
 ou présence d'eau (arrosage, fontaine, miroir
 d'eau, rétention d'eau, ...)



Bilan : Matériaux urbains

➔ Quels matériaux les plus performants ?

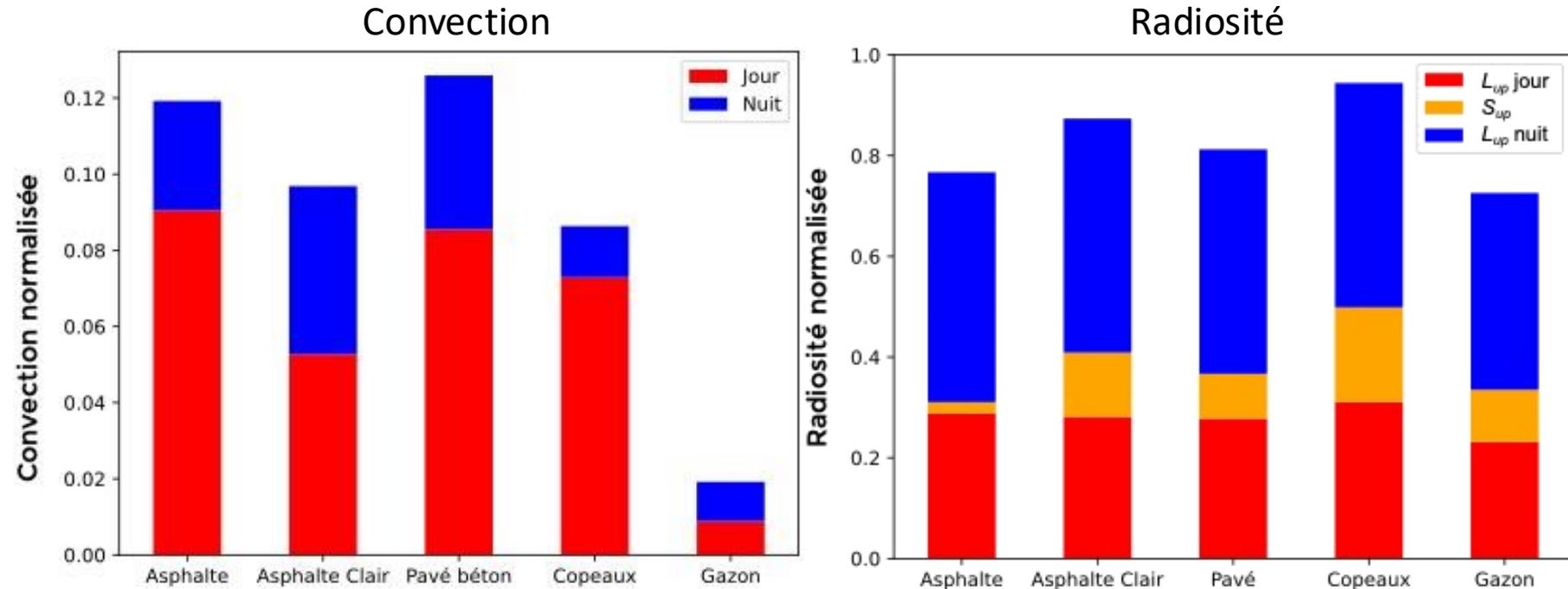
Gazon ... avec de l'eau idéalement !
ou présence d'eau



Effets concurrents entre radiativité/convection (+ effet SVF)

Gain sur T_{air} > Perte en radiativité ? ➔ Pas toujours (en journée)

Et sinon ? (sans usage d'eau)
Fort albédo ?



Bilan : Matériaux urbains

→ Quels matériaux les plus performants ?

Gazon ... avec de l'eau idéalement !
ou présence d'eau

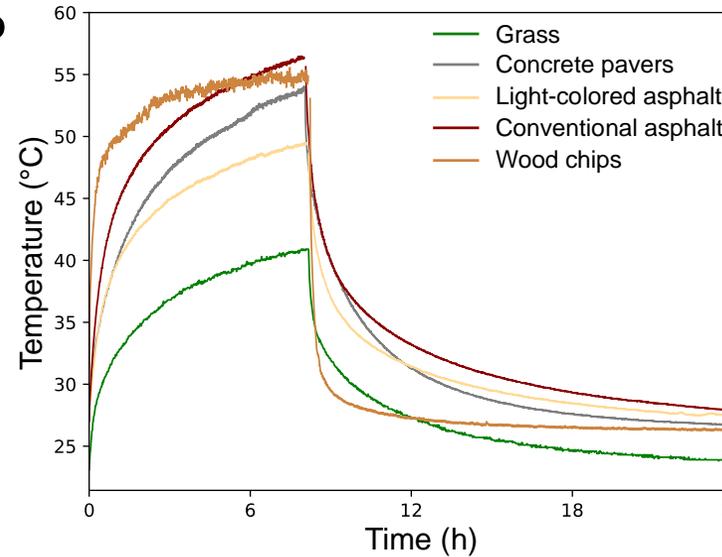
Et sinon ? (sans usage d'eau)

Fort albédo ?

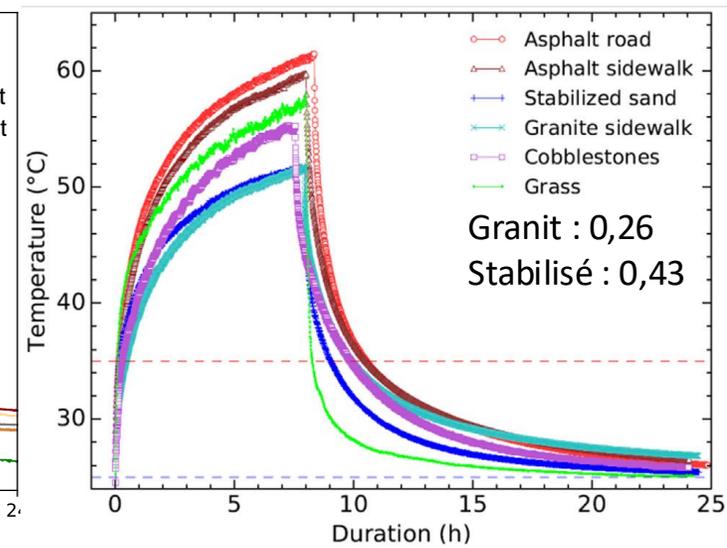
Inertie thermique ?

(NB : soir ≠ nuit)

Karam et al., *preprint*, hal-04665060v1



Parison et al., *Energy and Build.*, 2020



Une inertie forte permet de limiter l'échauffement diurne
mais surfaces chaudes la nuit

(e.g. granit,
pavé béton)

Une faible inertie génère un échauffement fort en journée
mais une chute rapide la nuit

(e.g. copeaux,
gazon sec)

La bonne réponse dépend des périodes de fréquentation !

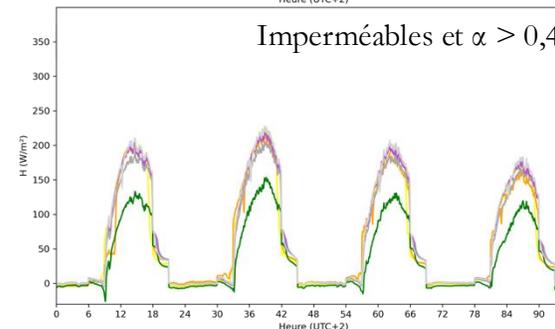
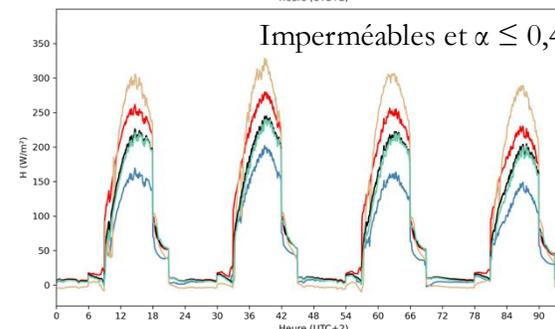
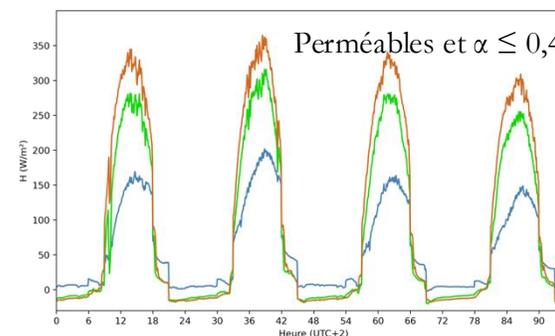
Perspectives

Démonstrateur matériaux urbains
Thèse CIFRE C. Abboud (2023-2026)

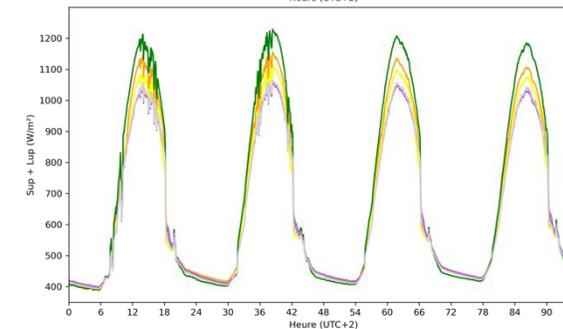
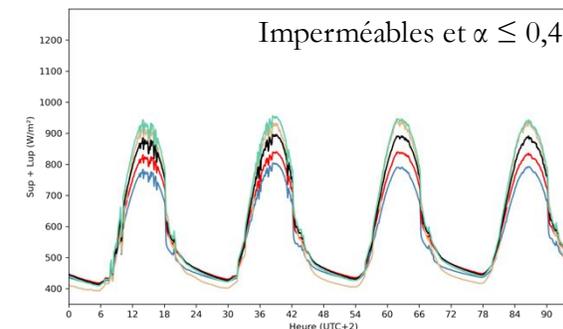
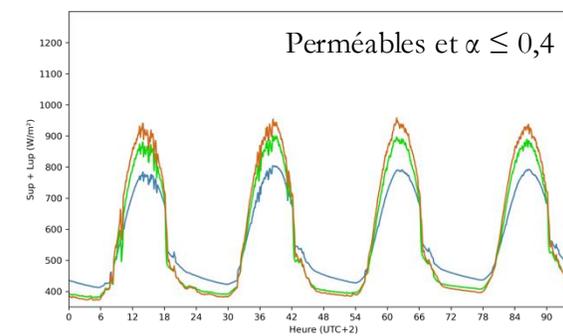


- Quid des effets cumulatifs lors de plusieurs journées caniculaires consécutives ?
- Comment analyser la performance des matériaux d'espace public le soir (début phase décharge) ?
- Les revêtements drainants courants (béton, enrobé, ...) ont-ils une inertie sensiblement plus faible ?
- Des revêtements « éponges » pourraient-ils stocker la pluie jusqu'à la canicule suivante (et quid de l'hiver) ?

Convection



Radiosité



Abboud et al., EGU 2024

Imperméables et $\alpha > 0,4$

Matériaux urbains

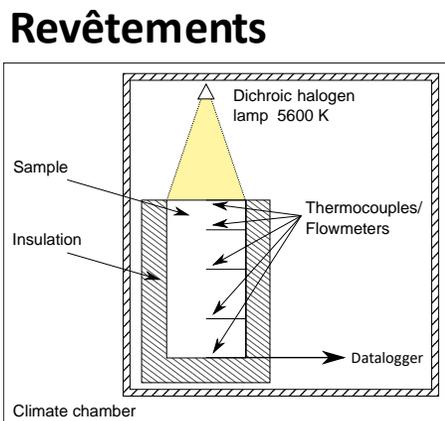
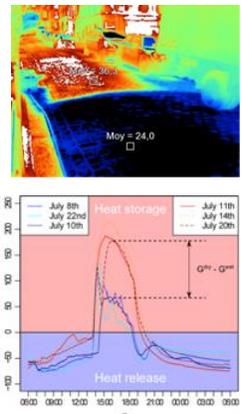
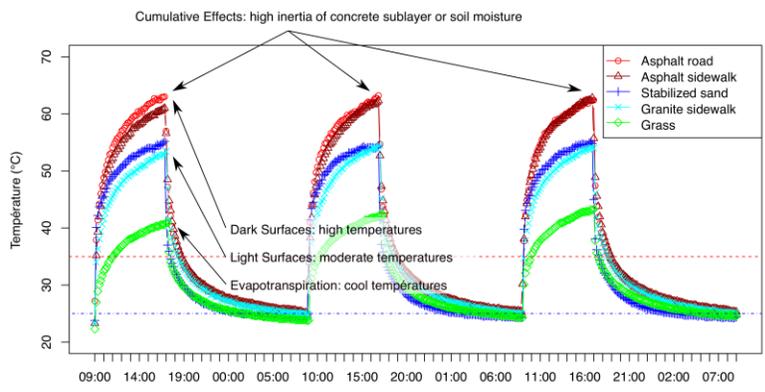


Démonstrateur Eiffage

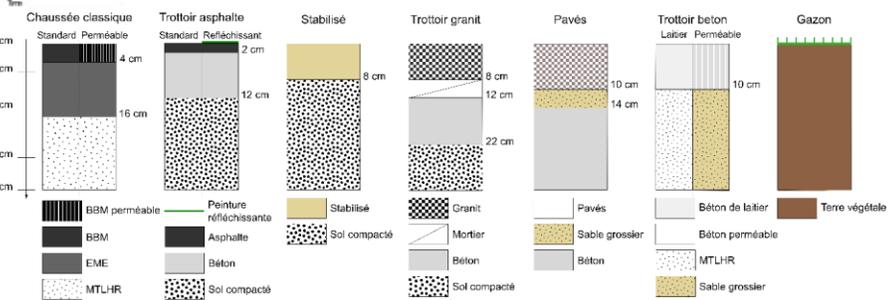


Thèse M. Frere (2020-2025)

Hendel et al., *Urban Climate*, 2014
 Hendel et al., *Urban Climate*, 2015
 Hendel et al., *Appl. Therm. Eng.*, 2015
 Hendel et al., *Build. and Env.*, 2018
 Parison et al., *Urban Climate*, 2020
 Parison et al., *Energy and Build.*, 2020
 Chaumont et al., *Energy and Build.*, 2024
 Chaumont et al., *under review*
 Parison et al., *CIFQ* 2022
 Frere et al., *Urban Climate*, 2024
 Karam et al., *under review*



Thèse CIFRE M. Hendel (2013-2016)



Thèse CIFRE S. Parison (2017-2020)



UMat4CC



Mesure d'albédo Mesure d'émissivité en labo ou *in situ*

Matériaux urbains Revêtements

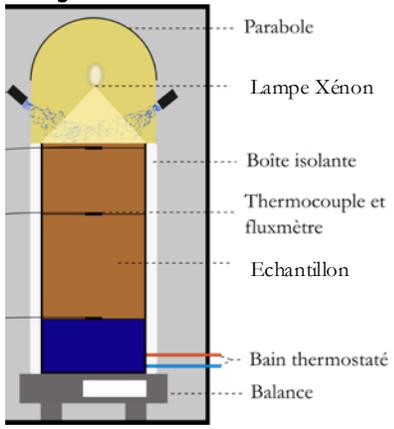
- Revêtements
- Façades et toitures

Démonstrateur Ville de Paris



Thèse CIFRE C. Abboud (2023-2026)

Façades et toitures



Thèse M. Chaumont (2019-2023)

Rafrâichissement urbain *in situ*

Hendel et al., *Urban Climate*, 2016
 Parison et al., *Urban Climate*, 2020
 Chaniel et al., *under review*
 Parison et al., *SCS*, 2023
 Karam et al., *COBEE 2022*
 Frere et al., *under preparation*
 Abboud et al., *EGU 2024*

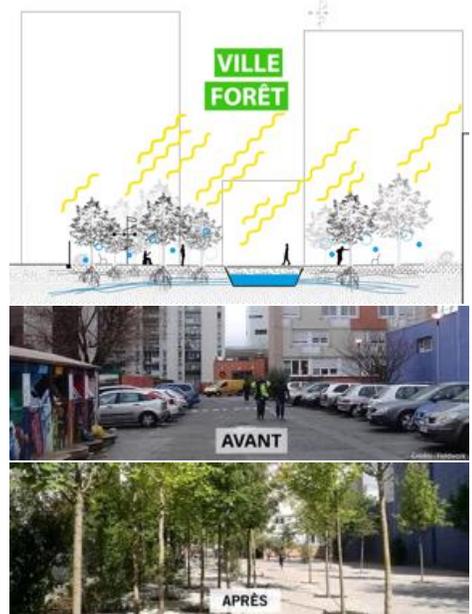
➔ **Matériaux urbains**

- Revêtements
- Façades et toitures

➔ **Rafrâichissement *in situ***

- Arrosage urbain
- Matériaux innovants
- Cours d'école
- Forêts urbaines

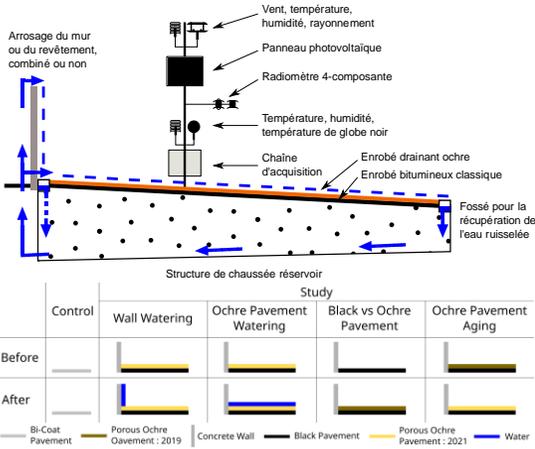
Lisière Tierce Forêt



Forêt urbaine

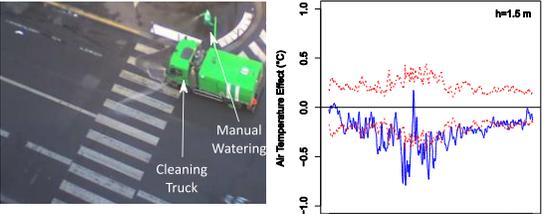
Thèse CIFRE C. Abboud (2023-2026)

Projet E3S



Thèse M. Frere (2020-2025)

Arrosage urbain

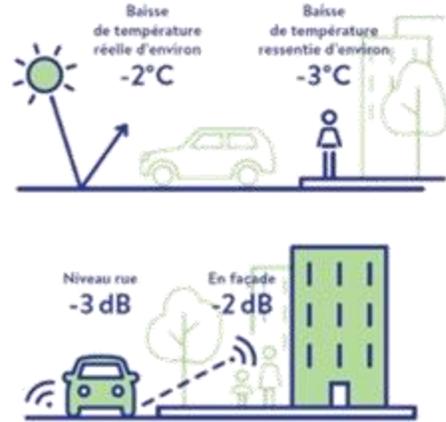


Thèse CIFRE M. Hendel (2013-2016)

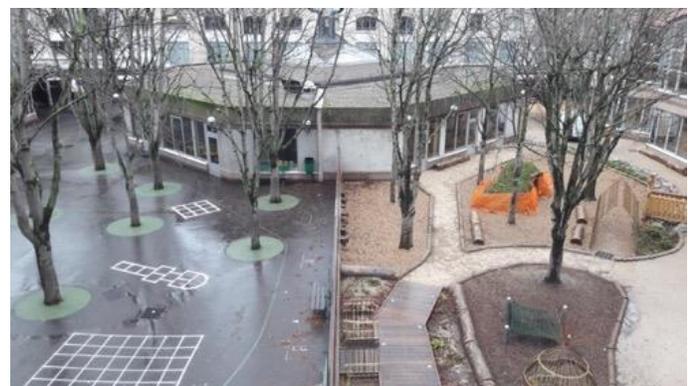
Thèse CIFRE S. Parison (2017-2020)

Thèse CIFRE M. Chaniel (2020-2023)

LIFE C-LOW-N Asphalt



Projet FEDER UIA OASIS



Thèse G. Karam (2019-2023)

Aide à la décision/conception

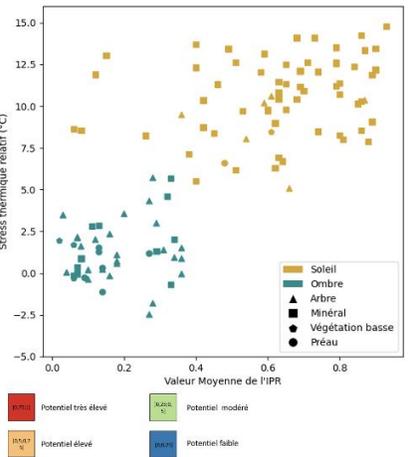
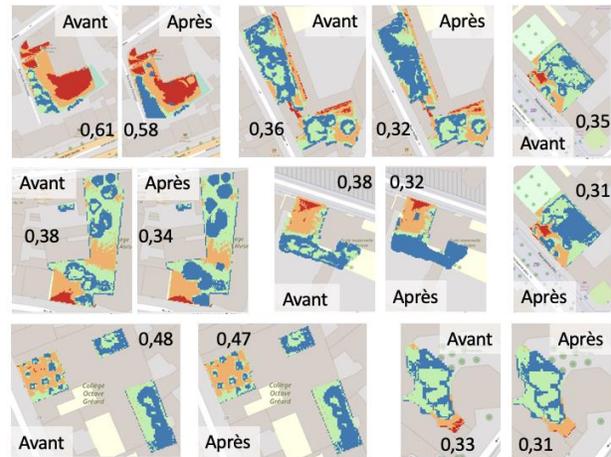
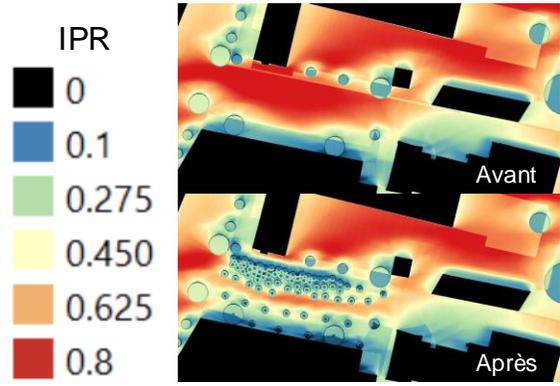


- ➔ Matériaux urbains
 - Revêtements
 - Façades et toitures

- ➔ Rafraîchissement *in situ*
 - Arrosage urbain
 - Matériaux innovants
 - Cours d'école
 - Forêts urbaines

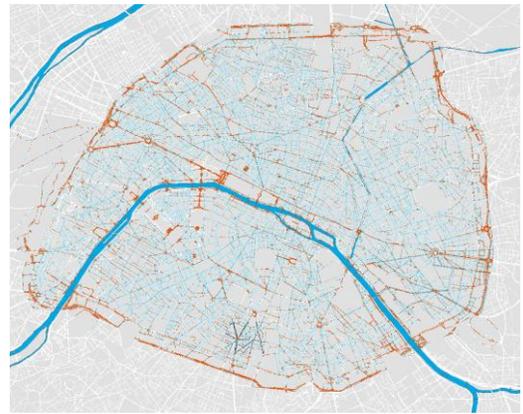
- ➔ Aide à la décision
 - Où intervenir en priorité ?
 - Aide à la conception

Tierce Forêt



UMat4CC

Stratégie d'arrosage urbain

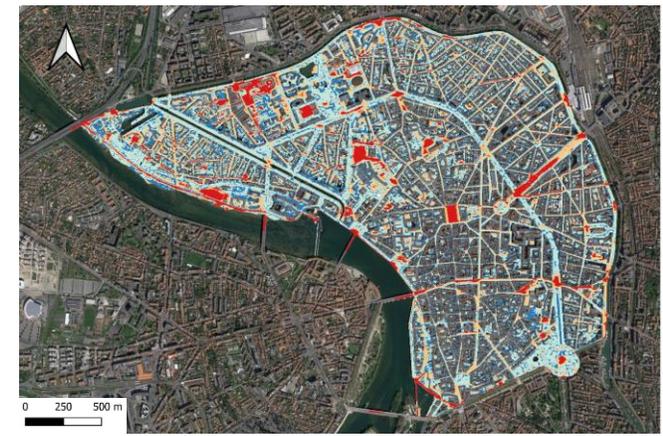


Cooling priority



Karam et al., COBEE 2022

IPR Toulouse



Stage M1 F. Rodriguez (2023)

Hendel et al., Urban Climate, 2020

Projets à court et moyen terme

➔ Matériaux urbains

- Revêtements
- Façades et toitures

➔ Rafraîchissement *in situ*

- Arrosage urbain
- Matériaux innovants
- Cours d'école
- Stress thermique et santé
- Forêts urbaines

Parison et al., *CIFQ 2022*
 Abboud et al., *EGU 2024*
 Abboud et al., *IBPSA 2024*
 Bartoli et al., *CIFQ 2022*
 Kamara et al., *AIC 2024*
 Abboud et al., *AIC 2024*

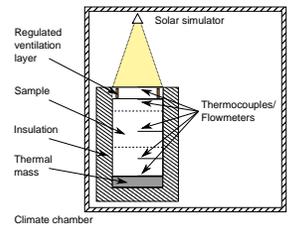
Revêtements urbains



Thèse CIFRE C. Abboud (2023-2026)



Toitures métalliques : projet ZINC



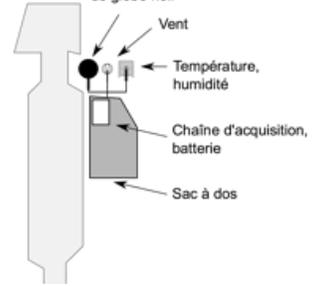
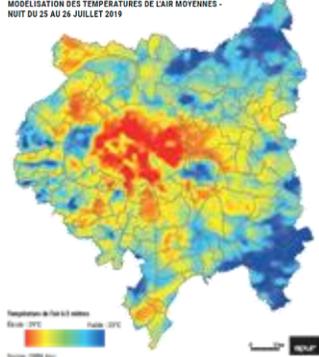
Evaluation rafraîchissement



Cool-Street (2025-2028)



Chaleur et santé



Thèse J. Kamara (2023-2026)

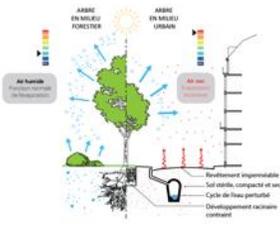
ANR H3Sensing (2022-2027)

PEPR VDBI VF++ (2024-2029)



Forêts urbaines

IDEX UPCité Cool Plants (2024-2025)



PEPR VDBI Paris RÉUSSI (2025-2030)



Thèse CIFRE C. Abboud (2023-2026)
 Thèse CDSN A. Girier (2024-2027)

Merci de votre attention

Martin Hendel

ResearchGate

https://www.researchgate.net/profile/Martin_Hendel

Université Gustave Eiffel, ESIEE Paris, Département SEED

Université Paris Cité, Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain (LIED) - UMR 8236 CNRS

Sciences Po, Laboratoire Interdisciplinaire d'Évaluation des Politiques Publiques (LIEPP)

martin.hendel@u-paris.fr