



# 02

## Causes et impacts de la surchauffe urbaine



## Martin HENDEL

Université Gustave Eiffel et chercheur CNRS  
Climatologue urbain, Enseignant-chercheur Professeur  
Associé

## Frédéric SEGUR

Cabinet conseil Arbre, Ville & Paysage, L'ingénierie  
de renaturation des villes  
Ingénieur forestier, ex- Ingénieur Territorial

FS

# L'équipe Climat Energie en Milieu Urbain

**Equipe** : 6 ens.-chercheurs permanents, 8 thèses en cours +1 postdoc

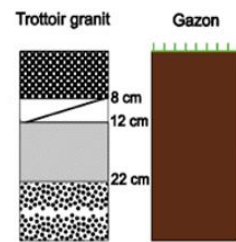
Porteur de la thématique **Rafrâichissement urbain**

## 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
- A. Couptry (2025-2028) : Rafrâichissement et aide à la décision

## 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

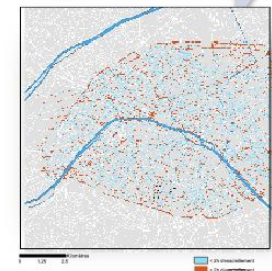


Facette urbaine *in situ*  
(mur, toiture, revêtement)

Bâtiment, rue,  
quartier



Matériaux  
urbains



Ville,  
agglomération

# Canicules et santé

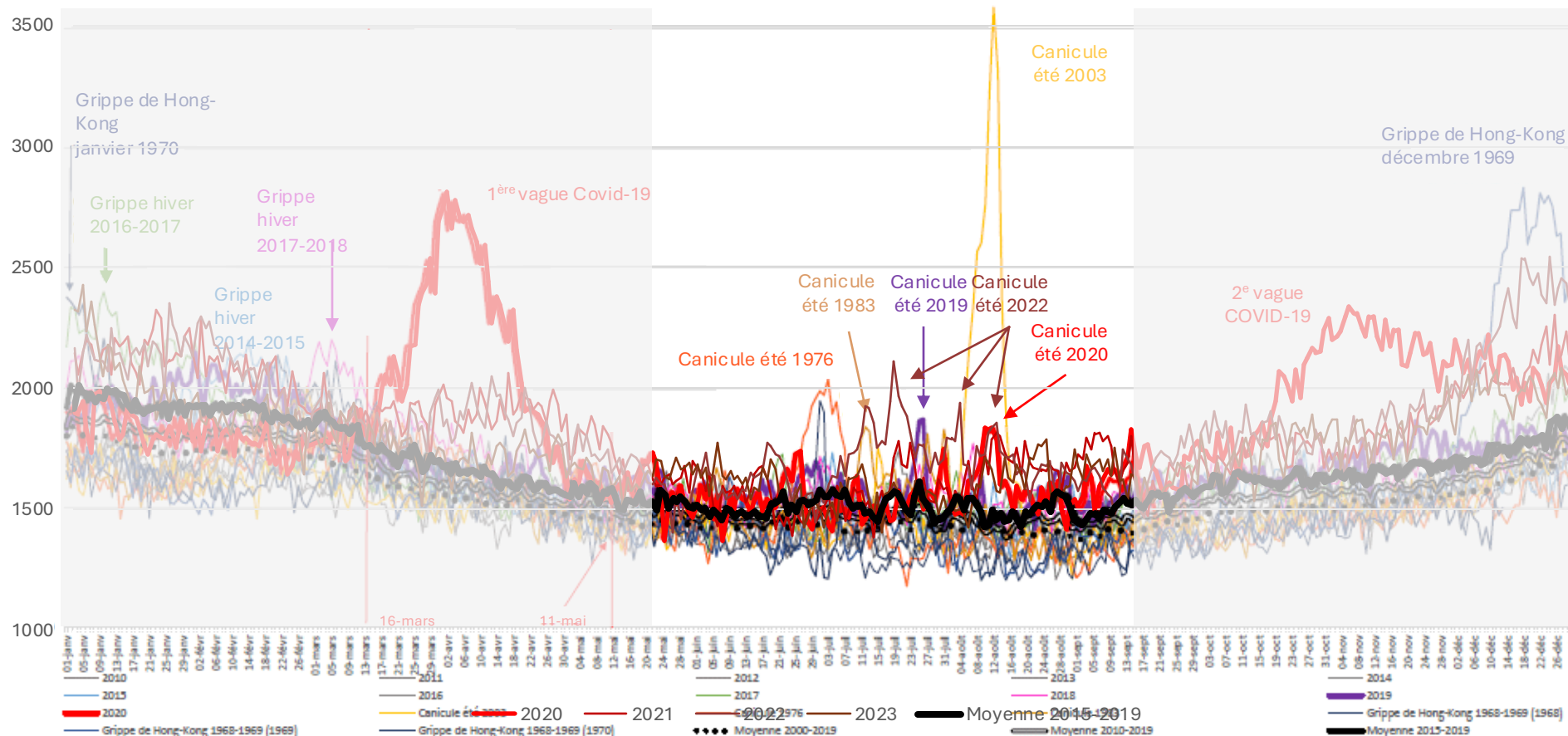


$T_{\text{air}}^{\text{max}} > 31^{\circ}\text{C}$  moy. sur 3 jrs  
 $T_{\text{air}}^{\text{min}} > 21^{\circ}\text{C}$  (Paris only)

Source : Insee

## Décès quotidiens chaque année de 2010 à 2023

avec représentées les moyennes sur 5 ans (2015-2019), dix ans (2010-2019) et 20 ans (2000-2019)  
 et quelques épisodes marquants (canicule de l'été 2003, grippe de Hong-Kong de décembre 1969...)



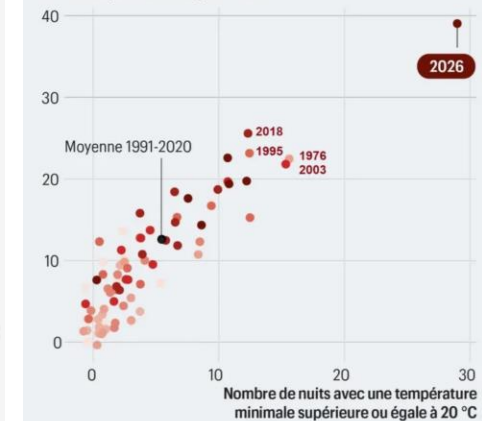
## Été 2026

### Une chaleur record à Paris

Journées caniculaires et nuits tropicales, pour chaque été, à Paris

Décennie 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020

Nombre de jours avec une température maximale supérieure ou égale à 30 °C



30 août 2026 • LP-Data • Source : Météo France.

Le Parisien

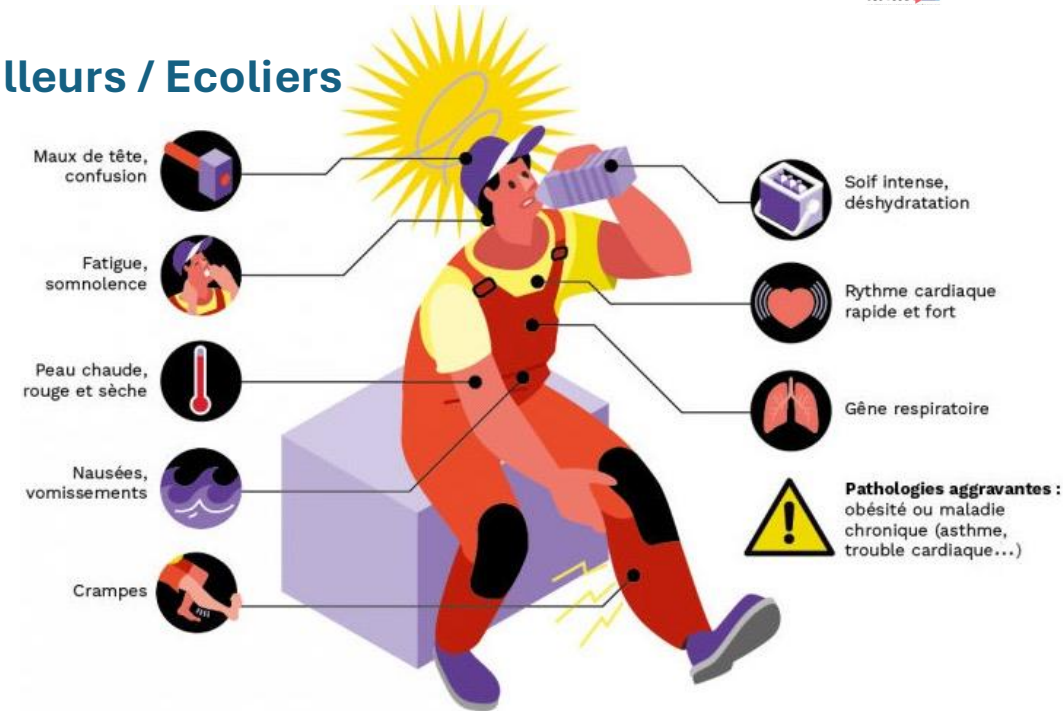
# « Santé urbaine »



Dilatation thermique : ponts, viaducs, pipelines, réseaux de transport, de distribution ou de transport de fluides ou d'énergie (y c électrique)  
→ endommagement/interruption du service

Coupures de courant : par ex appel de charge trop important (e.g. clim'), rupture des jonctions électriques, ...

## Travailleurs / Ecoliers



En particulier **métiers en extérieur** (agriculture, BTP, ...), mais aussi intérieur

→ Pas de réglementation européenne ou française en place (pour l'instant), mais il en existe ailleurs en Europe, p. ex en Espagne :  $T_{int} \leq 27^{\circ}\text{C}$  (voire  $25^{\circ}\text{C}$ )

→ Moins de productivité, plus d'accidents du travail (+5-7% au-delà de  $30^{\circ}\text{C}$ , +10-15% au-delà de  $38^{\circ}\text{C}$ ),

...

# « Santé urbaine »



Santé des arbres :  
« descente de cîme »

## Faune



Faune sauvage

## Risque d'incendie



AFP

## Faune domestique



Midi Libre

# Au fait, c'est quoi l'îlot de chaleur urbain (ICU) ?

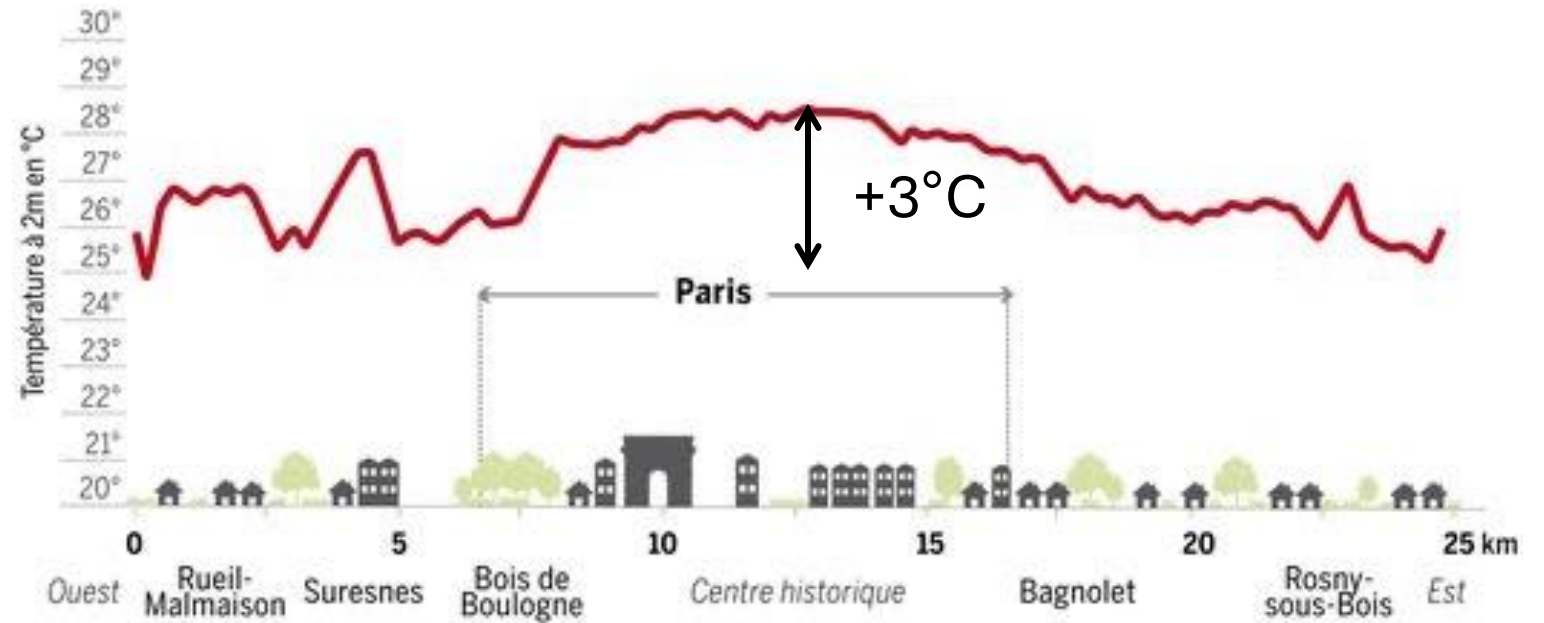


# ICU Parisien

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

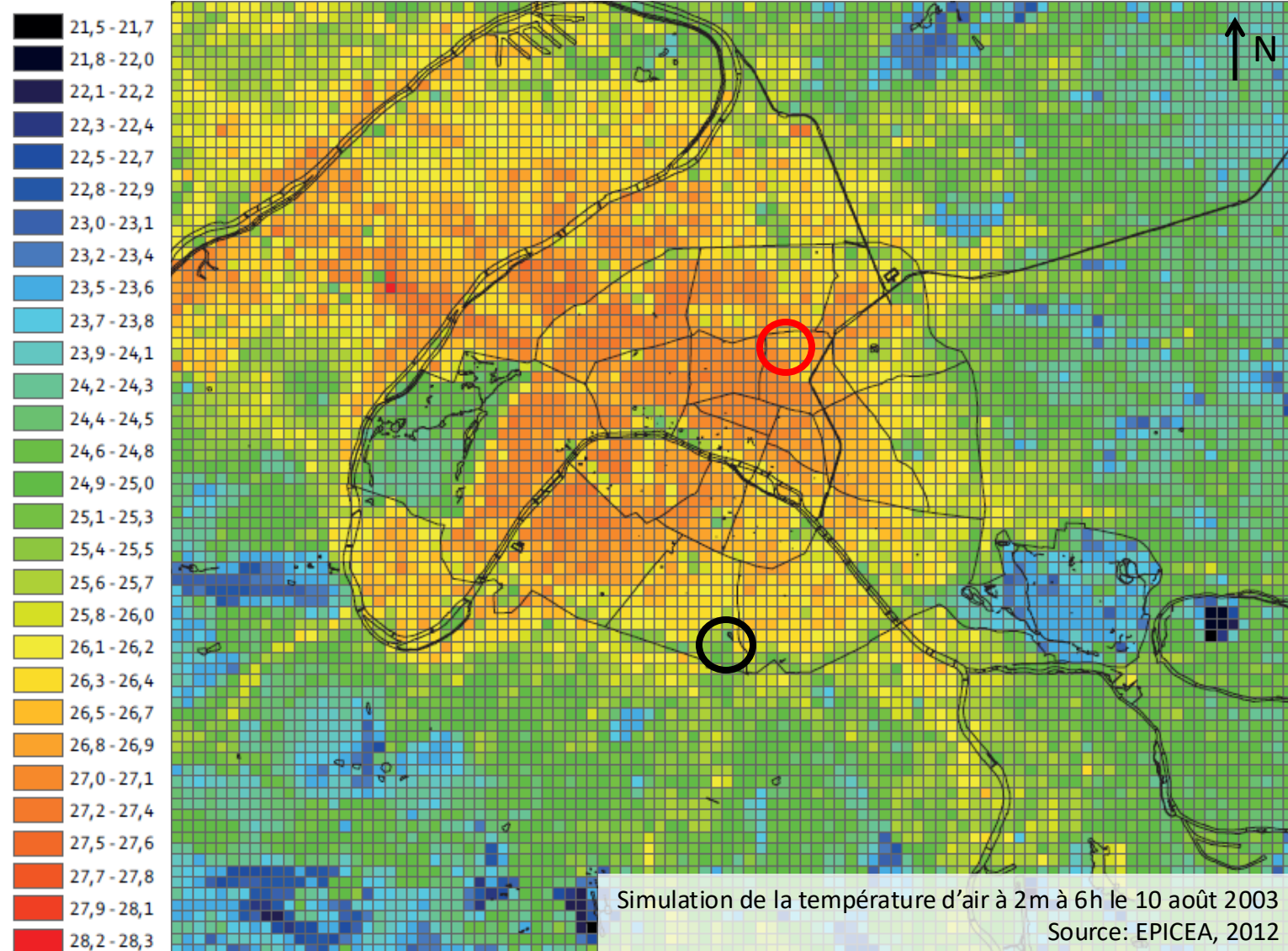
Ordre de grandeur :

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

Fortement amplifiés lors de  
conditions anticycloniques...

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

12°C



# ICU Dijonnais

Phénomène de réchauffement  
localisé des villes

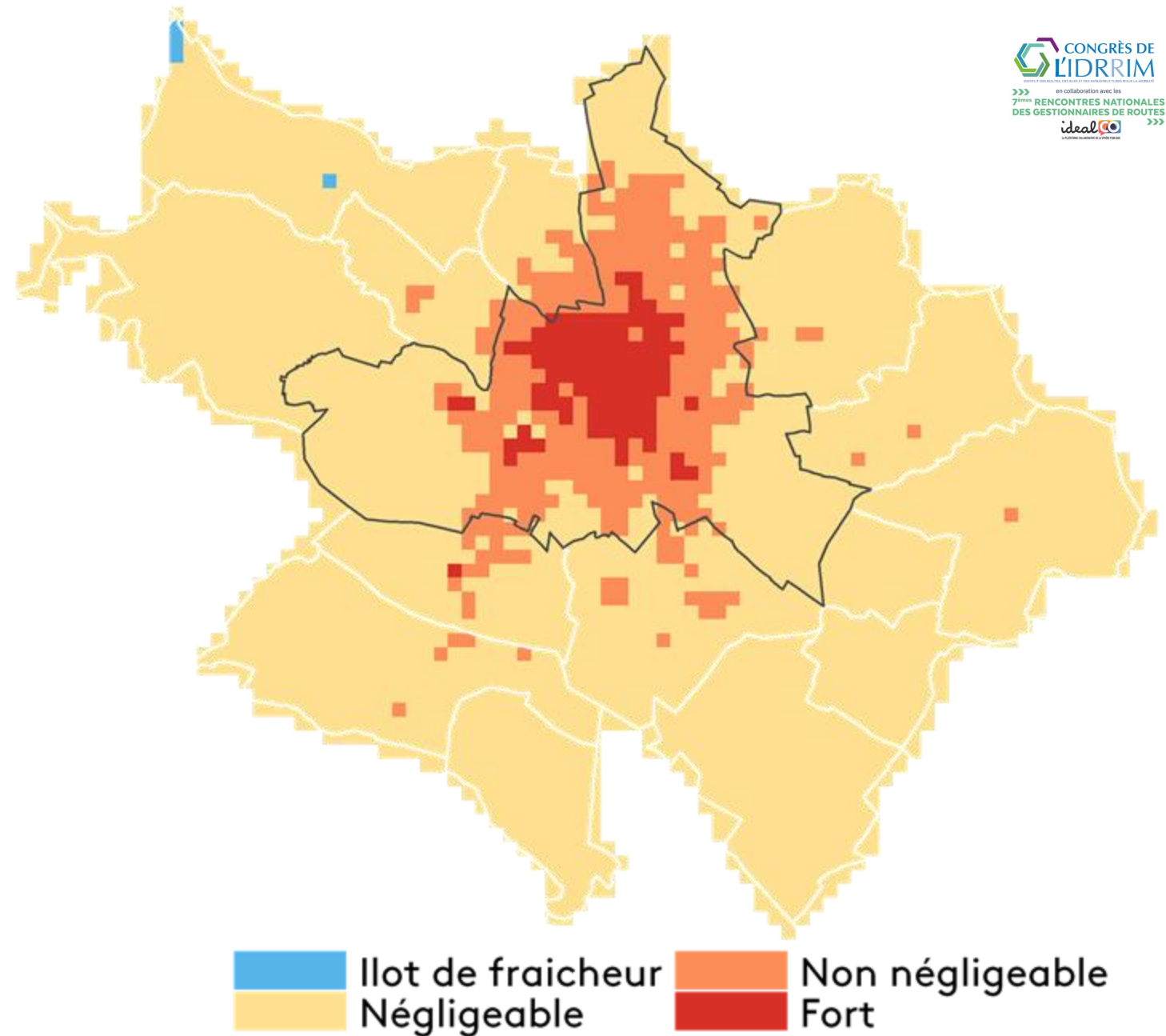
Ordre de grandeur :

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

Fortement amplifiés lors de  
conditions anticycloniques...

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

12°C

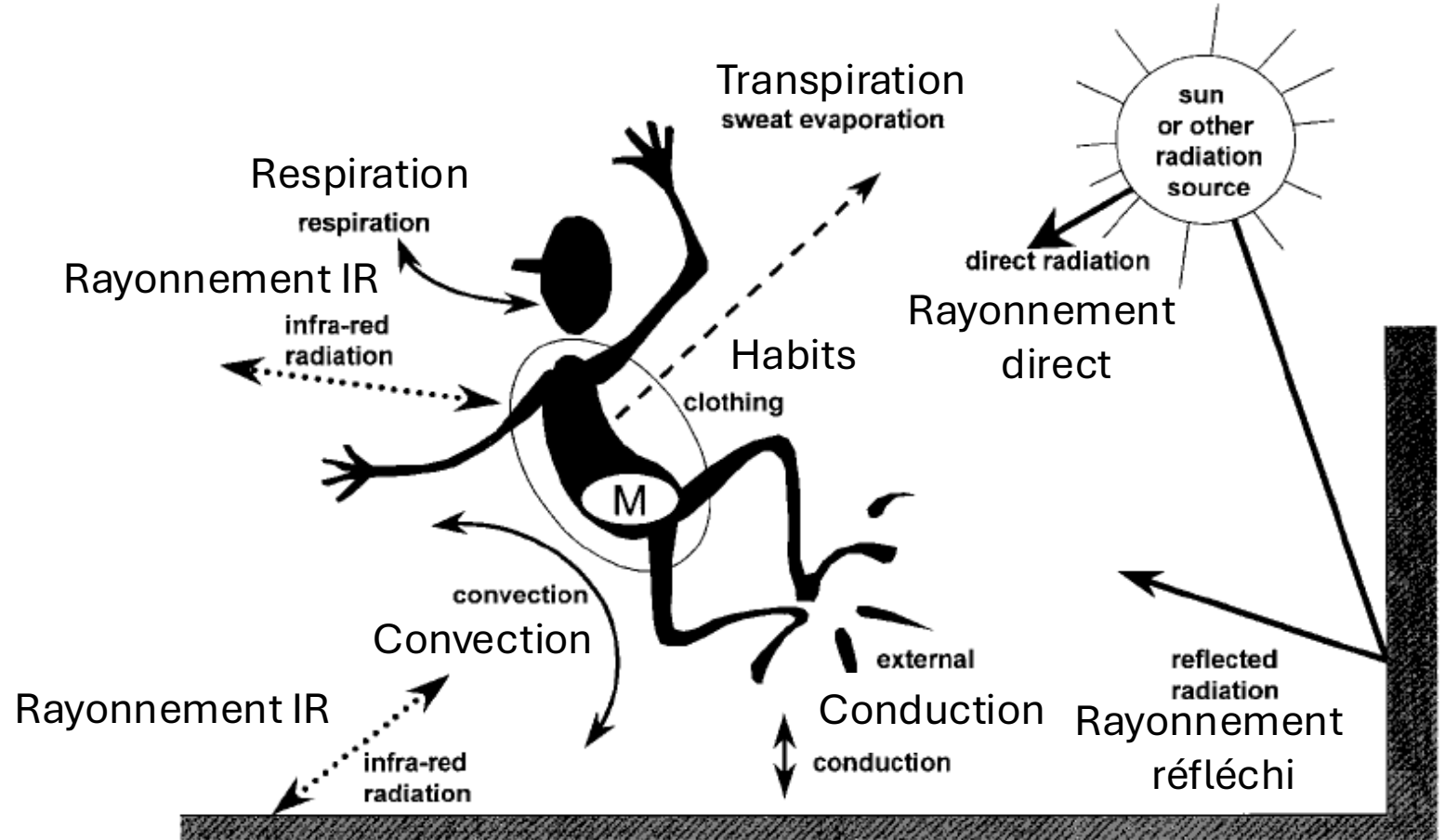


Source : MApUCE. Crédits : franceinfo

## 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.



Havenith et al. 1999

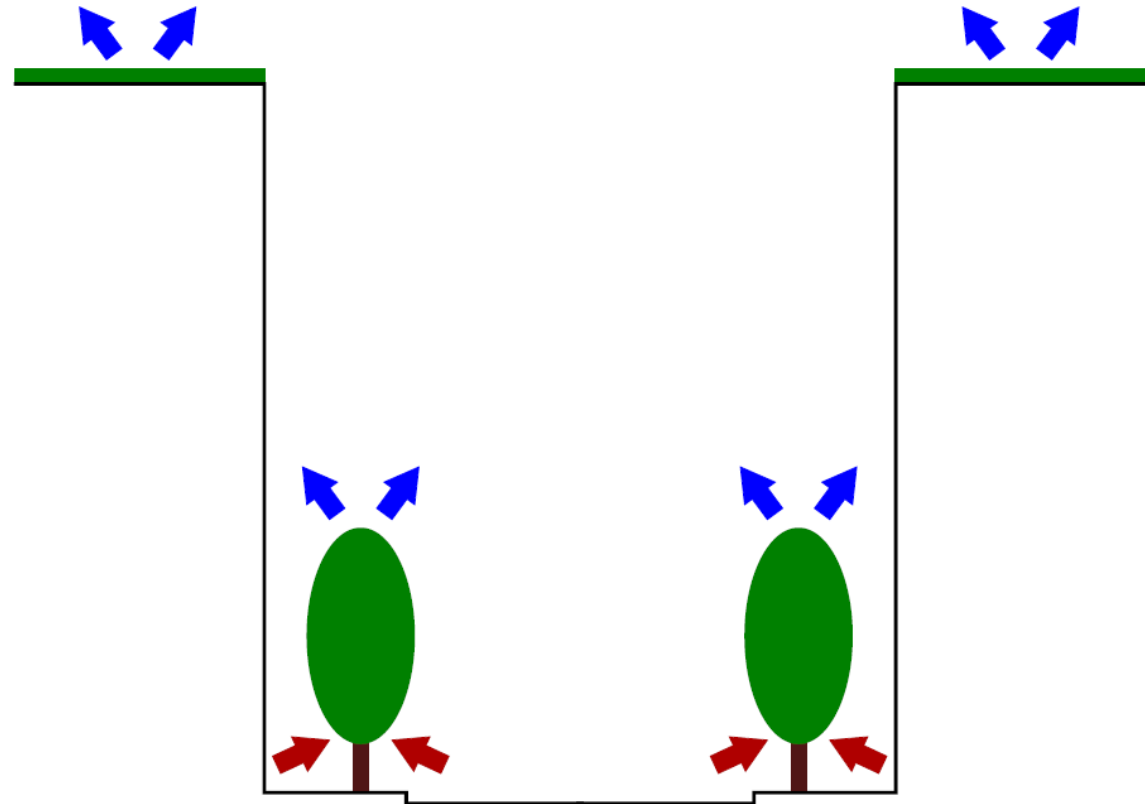
# ICU : Mécanismes

Piégeage radiatif

Manque d'évapotranspiration

Obstruction du vent

Chaleur anthropique



# Solutions

Piégeage radiatif

Faible évapotranspiration

Obstruction du vent

Chaleur anthropique

## Villes réfléchissantes

Cádiz, Espagne



Santorin, Grèce



# Solutions

Piégeage radiatif

Faible évapotranspiration

Obstruction du vent

Chaleur anthropique

## Végétalisation

Musée du quai Branly



New York



Parc de Sceaux

# Solutions

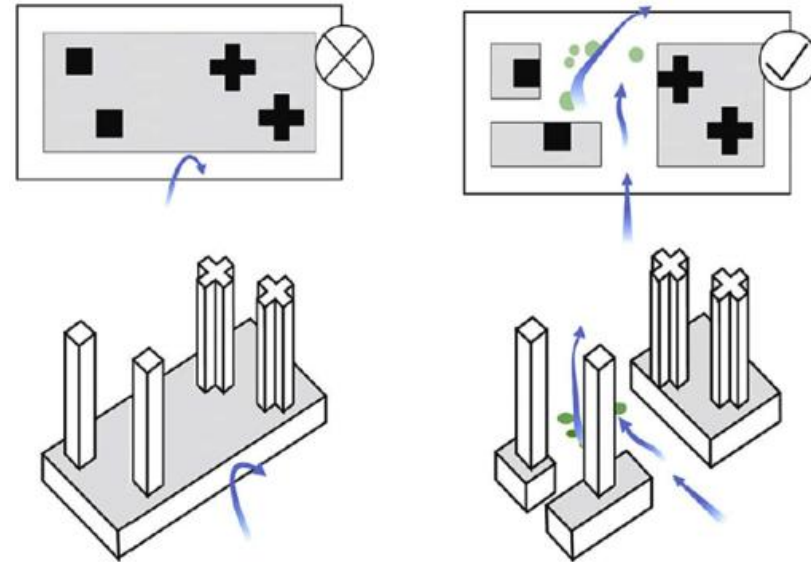
Piégeage radiatif

Faible évapotranspiration

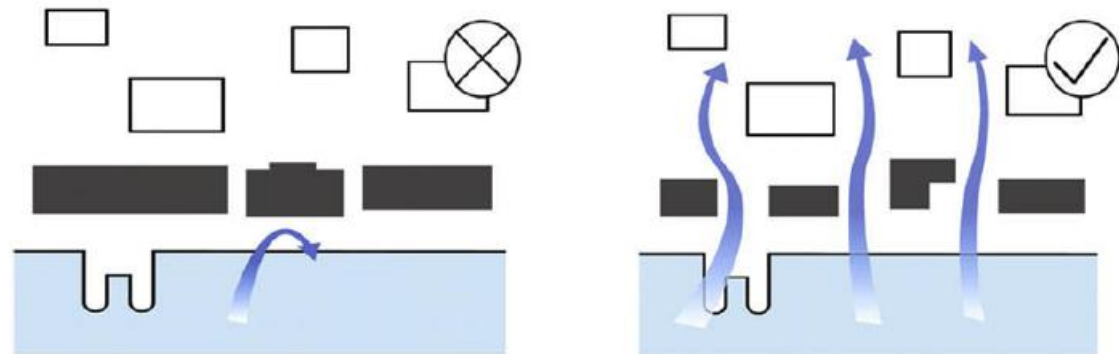
Obstruction du vent

Chaleur anthropique

## Perméabilité aéraulique



Source : Ng E. (2009)



# Solutions

Piégeage radiatif

Faible évapotranspiration

Obstruction du vent

Chaleur anthropique

## Efficacité énergétique



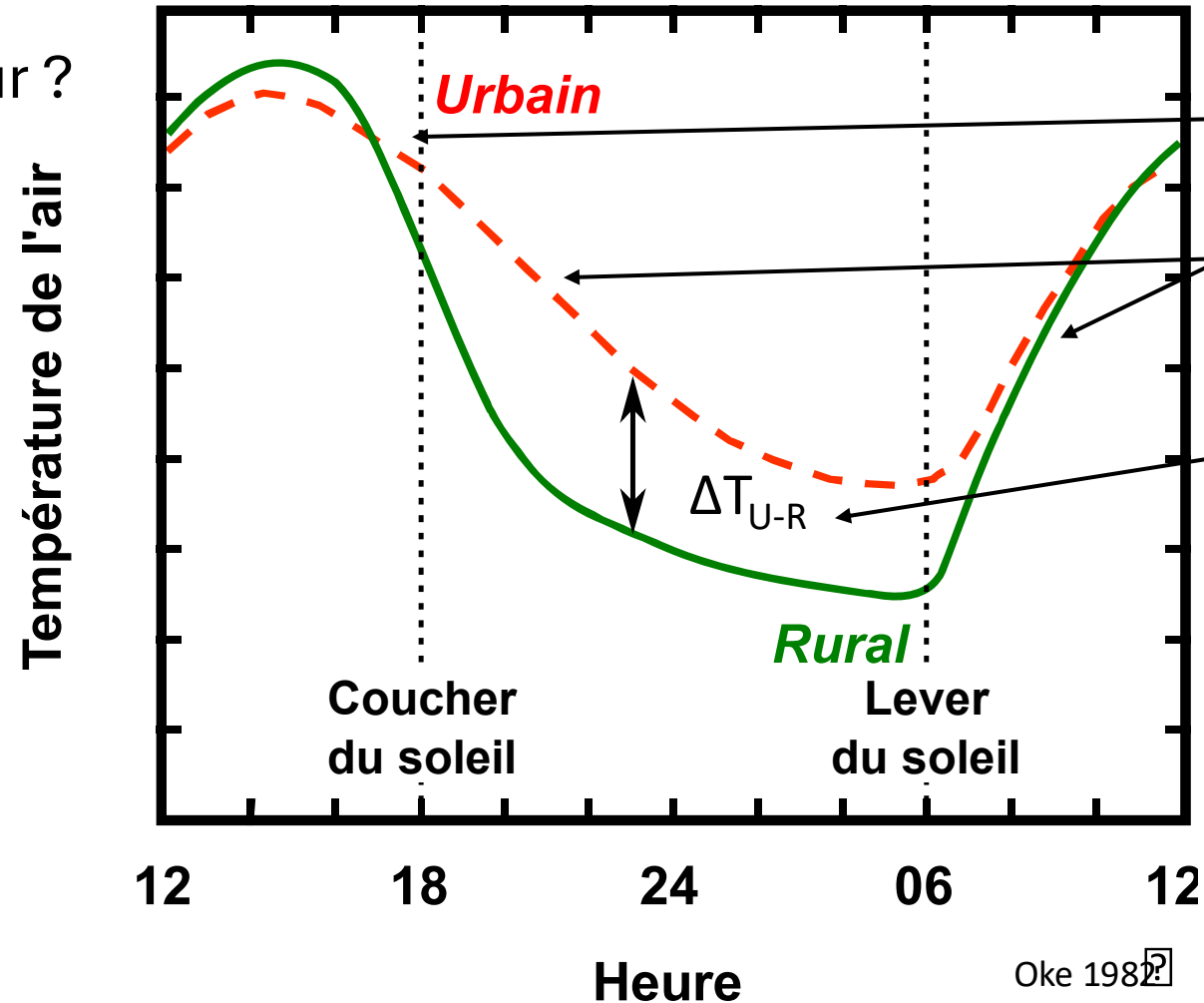
Réseau Climespace 2012



# Quel est l'objectif ?

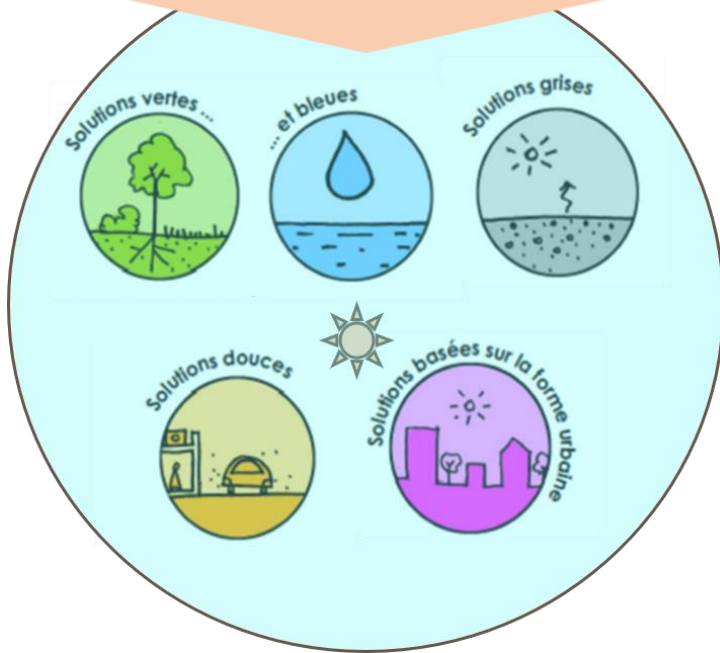
ICU et/ou stress thermique ?

Intérieur ou extérieur ?



Oke 1982

# Les solutions d'adaptation sont à l'interface des métiers



## Les solutions vertes

Les solutions vertes font intervenir les solutions fondées sur la nature (végétal, eau).



## Les solutions grises

Les solutions grises rassemblent les solutions techniques relatives aux infrastructures urbaines : revêtements, mobilier urbain, bâtiments.



## Les solutions douces

Les solutions douces relèvent des comportements et de la gestion urbaine.

| Solutions en climat tempéré                                 | A l'échelle de la ville |         | A l'échelle du piéton |         |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------|---------|-----------------------|---------|
|                                                             | le jour                 | la nuit | le jour               | la nuit |
| Parcs                                                       | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Arbres                                                      | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Pelouses, prairies                                          | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Toiture végétalisée                                         | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Façade végétalisée                                          | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Plans d'eau, rivières                                       | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Ouvrages paysagers de gestion des eaux pluviales            | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Forme urbaine bioclimatique                                 | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Fontaines, jets d'eau                                       | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Arrosage de l'espace urbain                                 | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Structures d'ombrages                                       | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Panneaux solaires                                           | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Revêtements à albédo élevé                                  | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Revêtements drainants                                       | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Matériaux à changement de phase                             | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Isolation et inertie thermique                              | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Réduction du trafic routier, des moteurs thermiques         | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Réduction de l'utilisation de la climatisation              | ●                       | ●       | ●                     | ●       |
| Adaptations individuelles et sociétales aux fortes chaleurs | ●                       | ●       | ●                     | ●       |

Le schéma ci-contre décrit l'effet de rafraîchissement de chaque solution. Il résulte d'une analyse croisée de l'ensemble des résultats des études et publications.

## Effet de rafraîchissement

- effet fort
- effet moyen
- effet faible
- effet non significatif

## Impacts et Cobénéfices

- effet très positif
- effet positif
- effet neutre
- effet négatif
- effet très négatif

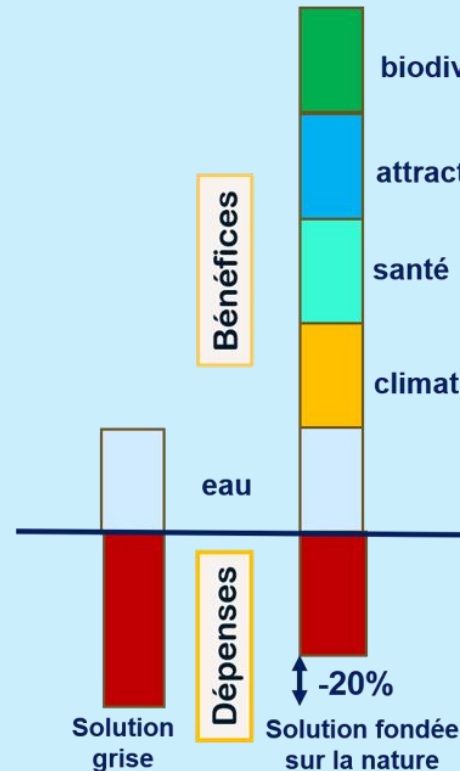


Rafraîchir les villes des solutions variées

# Les solutions fondées sur la nature

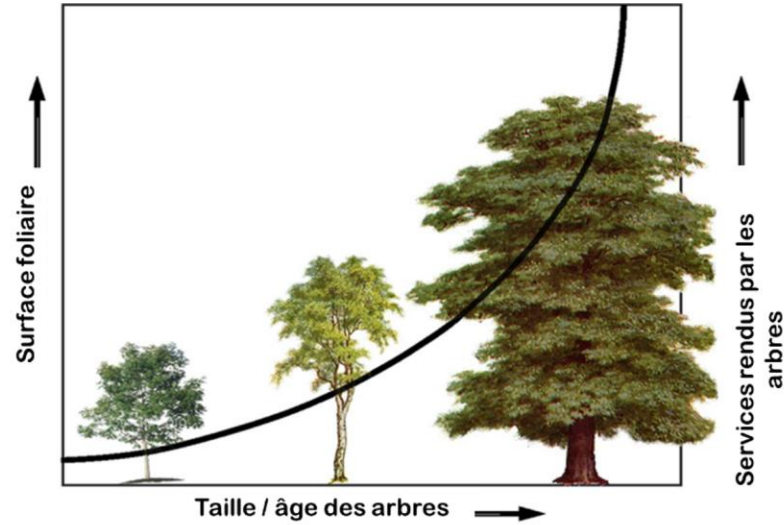
## Mieux valoriser les co-bénéfices

### Les bénéfices sont cumulatifs



| Solutions                                                   | Cobénéfices  |                  |                     |         | Impacts           |                      |             |
|-------------------------------------------------------------|--------------|------------------|---------------------|---------|-------------------|----------------------|-------------|
|                                                             | biodiversité | séquest. carbone | usages et socialité | confort | empreinte carbone | conso. d'eau potable | coût global |
| Parcs                                                       | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Arbres                                                      | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Pelouses, prairies                                          | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Toiture végétalisée                                         | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Façade végétalisée                                          | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Plans d'eau, rivières                                       | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Ouvrages paysagers de gestion des eaux pluviales            | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Forme urbaine bioclimatique                                 | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Fontaines, jets d'eau                                       | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Arrosage de l'espace urbain                                 | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Structures d'ombrages                                       | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Panneaux solaires                                           | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Revêtements à albédo élevé                                  | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Revêtements drainants                                       | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Matériaux à changement de phase                             | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Isolation et inertie thermique                              | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Réduction du trafic routier, des moteurs thermiques         | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Réduction de l'utilisation de la climatisation              | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |
| Adaptations individuelles et sociétales aux fortes chaleurs | ●            | ●                | ●                   | ●       | ●                 | ●                    | ●           |

# Aménager en ménageant l'existant : (adaptation des terrassements)



# Faire de l'eau une ressource : (adapter le nivellement)

