

# Surchauffe urbaine et adaptation des villes

Valéry Masson

Conseil National de l'Information Statistique, 2 juillet 2025

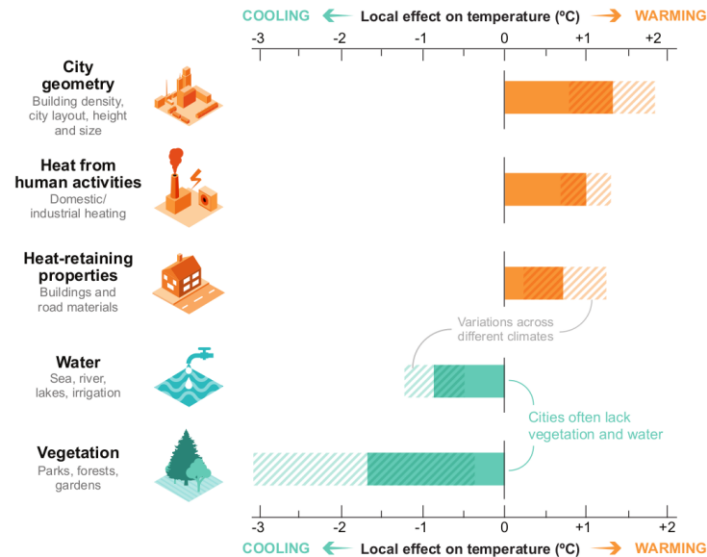


# Variabilité du micro-climat urbain

- L'îlot de chaleur urbain est:  
La différence de température de l'air entre:
  - Les zones rurales
  - Et les divers quartiers de la ville
- Il est extrêmement variable
  - Dans le temps, et maximum la nuit
  - Entre les villes (géographie, climat, histoire)
  - Au sein même de chaque ville
- En période de canicule il augmente l'exposition aux fortes chaleurs et ses conséquences.

## FAQ 10.2: Why are cities the hotspots of global warming?

Cities are usually warmer than their surrounding areas due to factors that trap and release heat and a lack of natural cooling influences, such as water and vegetation.



FAQ 10.2, Figure 1 | Efficiency of the various factors at warming up or cooling down neighbourhoods of urban areas. Overall, cities tend to be warmer than their surroundings. This is called the 'urban heat island' effect. The hatched areas on the bars show how the strength of the warming or cooling effects of each factor varies depending on the local climate. For example, vegetation has a stronger cooling effect in temperate and warm climates. Further details on data sources are available in the chapter data table (Table 10.5M.11).

# Variabilité du micro-climat urbain

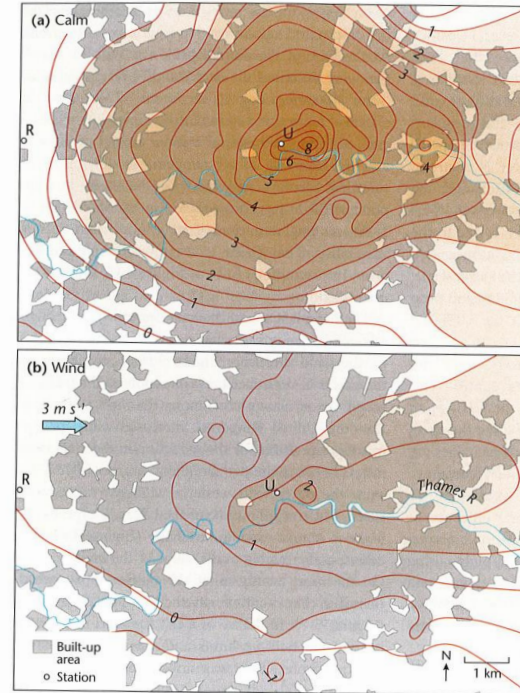
- L'îlot de chaleur urbain dépend des **conditions météo**

Il est maximum la **nuit**, faible pendant le jour

Il peut exister une nuit, disparaître la suivante

Les **canicules** favorisent la formation des îlots de chaleur

➡ en retour, ils **aggravent** donc les chaleurs extrêmes en ville



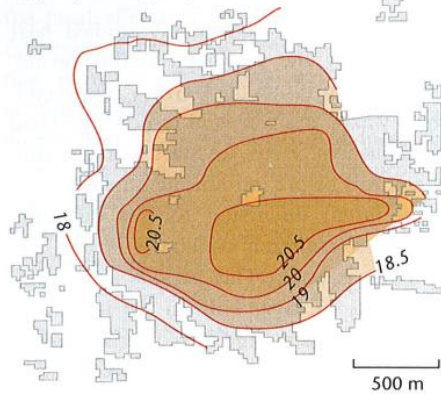
**Figure 7.18** The effect of wind speed in reducing the magnitude and changing the shape of the nocturnal UHI<sub>UCL</sub> of London, United Kingdom (a) On 28 August 1999 at 0100 h in near calm conditions the shape is rounded with its centre just E of the British Museum (located at station U at the centre of the rectangular grid). (b) The 'stretched' shape of the UHI<sub>UCL</sub> on 14 August, 1999 at 2200 h, with a W wind at 3 m s<sup>-1</sup>, preceded by 4 hours with W winds between 3 and 4 m s<sup>-1</sup>, it extends towards the E. Isotherm interval 0.5 K. R is the rural reference station (Source: McGregor et al., 2006; with permission).

source :  
Oke et al 2017

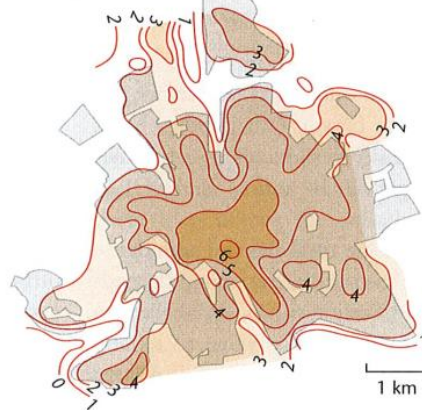
# Variabilité du micro-climat urbain

- L'îlot de chaleur urbain dépend de la **taille** (et donc population) de la ville ou agglomération

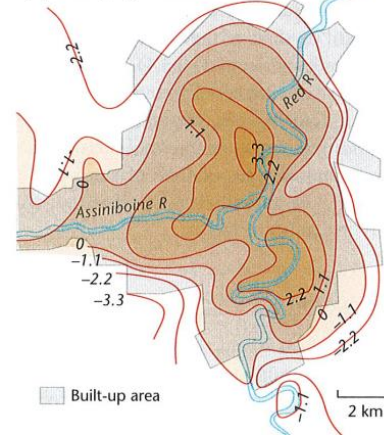
(a) Ogaki City, Japan



(b) Uppsala, Sweden



(c) Winnipeg, Canada

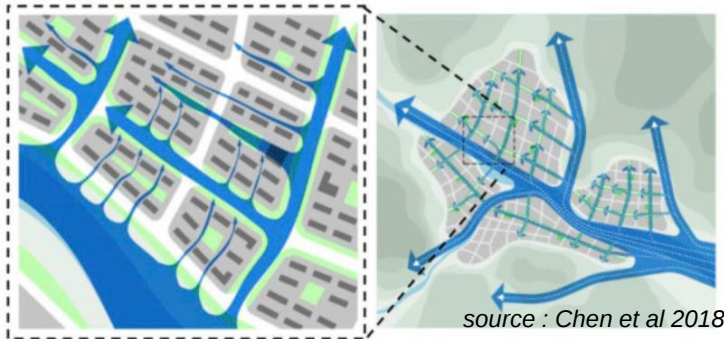


# Variabilité du micro-climat urbain

- La température est variable au sein même de la ville

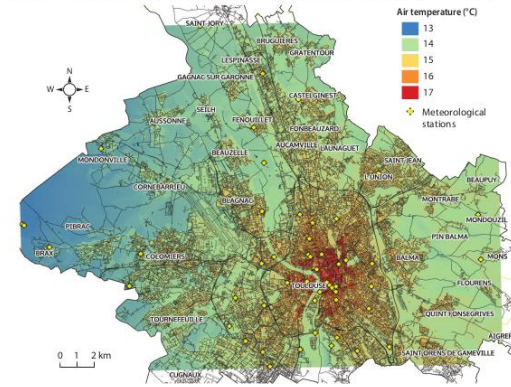
Cette **variabilité intra-urbaine** est cruciale pour définir les **stratégies d'adaptation**.

- Ou placer des parcs ?
- Ou sont les quartiers les plus chauds ?

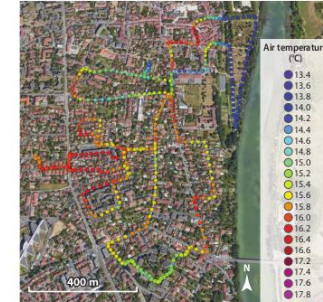


Couloirs de ventilation principaux et secondaires  
À l'échelle des quartiers (à gauche) et de la ville (à droite).

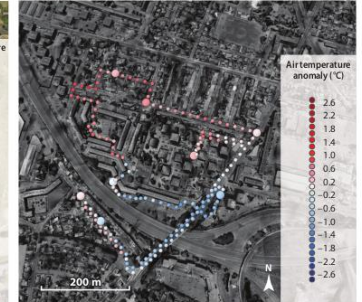
a Air temperature in the Toulouse agglomeration, France, July 29, 2019 (6:30 AM local time)



b District scale



c Neighborhood scale



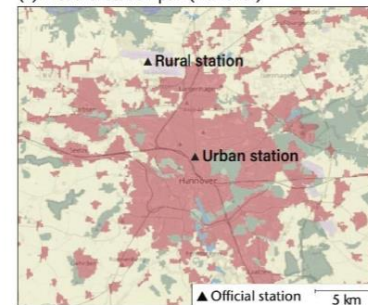
Variabilité de l'îlot de chaleur à Toulouse à différentes échelles  
Agglomération, commune, quartier (source : Masson et al 2020)

# Obs. météo (in)disponibles en ville

## Les stations météo 'Officielles' sont

- Dans les aéroports
- Au mieux dans les parcs

(a) Weather station pair (Hanover)



▲ Official station 5 km  
Built-up areas Agriculture Forests Water bodies Airports

source : OMM 2023



Aéroport (proche de Paris)



Parc Montsouris (Paris)



Une nouvelle station (Paris)

# Obs. météo (in)disponibles en ville

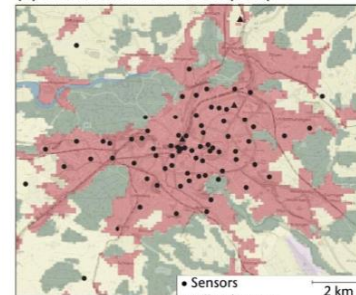
## Les stations météo 'Officielles' sont

- Dans les aéroports
- Au mieux dans les parcs

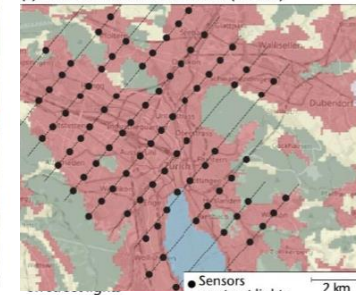
## Les réseaux météorologiques urbain sont rares

- Installés par des laboratoires de recherche
- Par les villes, **nombre en augmentation**

(b) LCZ-based sensor network (Bern)

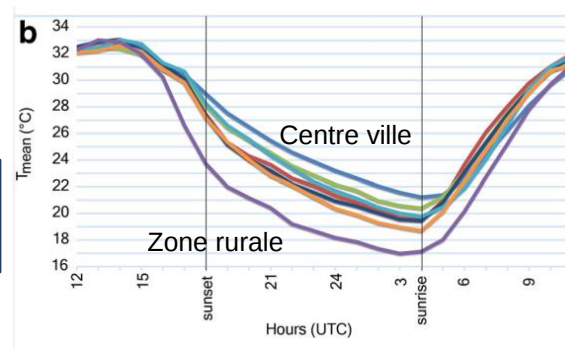


(c) Grid-based sensor network (Zurich)

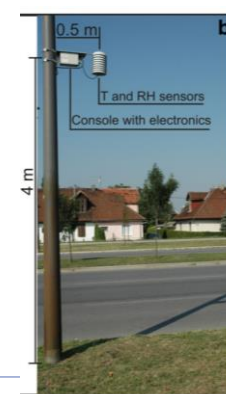


source : OMM 2023

Evolution typique de la température de l'air pendant une canicule dans divers quartiers de Novi Sad (Serbie)



source Milošević et al 2021



# Obs. météo (in)disponibles en ville

## Les stations météo 'Officielles' sont

- Dans les aéroports
- Au mieux dans les parcs

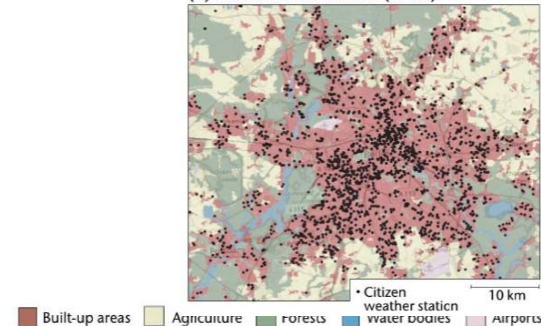
## Les réseaux météorologiques urbain sont rares

- Installés par des laboratoires de recherche
- Par les villes, **nombre en augmentation**

## Le Crowdsourcing permet plus d'observations

- Stations météo personnelles connectées
- Voitures personnelles connectées

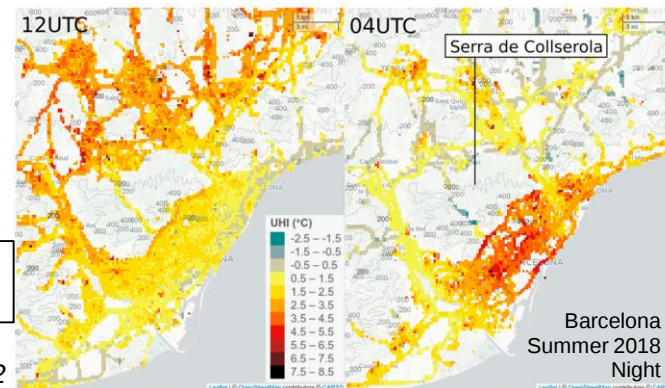
(d) Citizen weather stations (Berlin)



source : OMM 2023

Ilot de chaleur urbain mesuré par des voitures connectées personnelles

source : Marquès et al 2022



# Les phénomènes physiques menant à l'îlot de chaleur urbain

## City geometry

Building density,  
city layout, height  
and size



## Heat from human activities

Domestic/  
industrial heating



## Heat-retaining properties

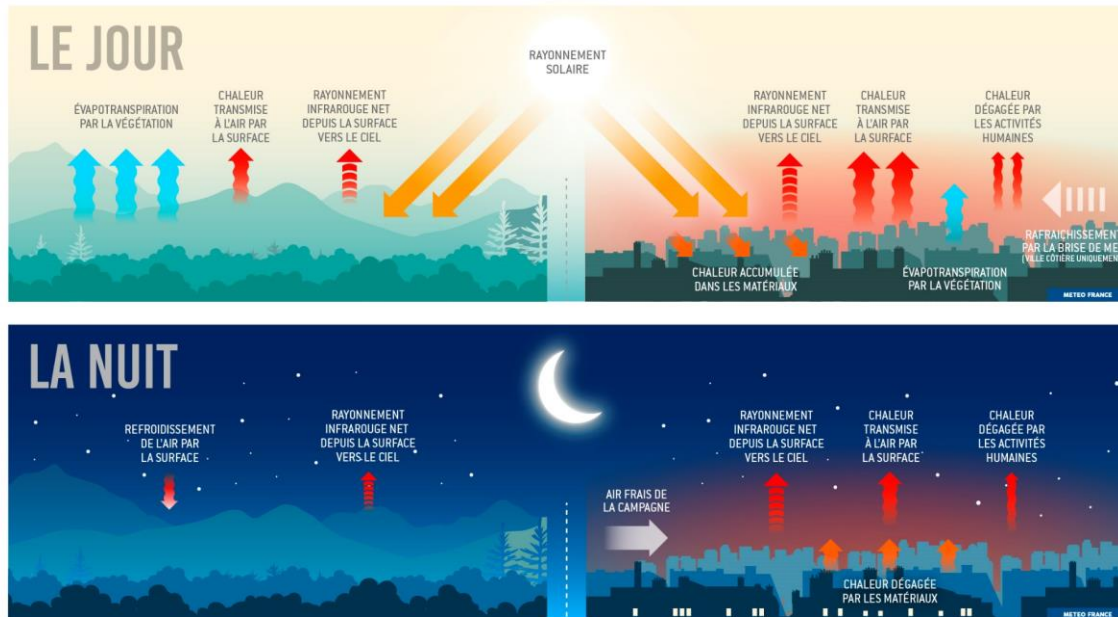
Buildings and  
road materials



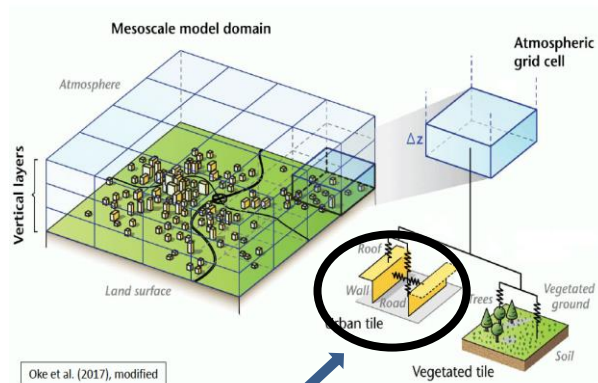
- La chaleur du soleil est absorbée le jour, et relâchée la nuit:

➡ îlot de chaleur de **4-10°C**

- La clim peut ajouter environ 1°C.



# Modèles numériques de climat urbain



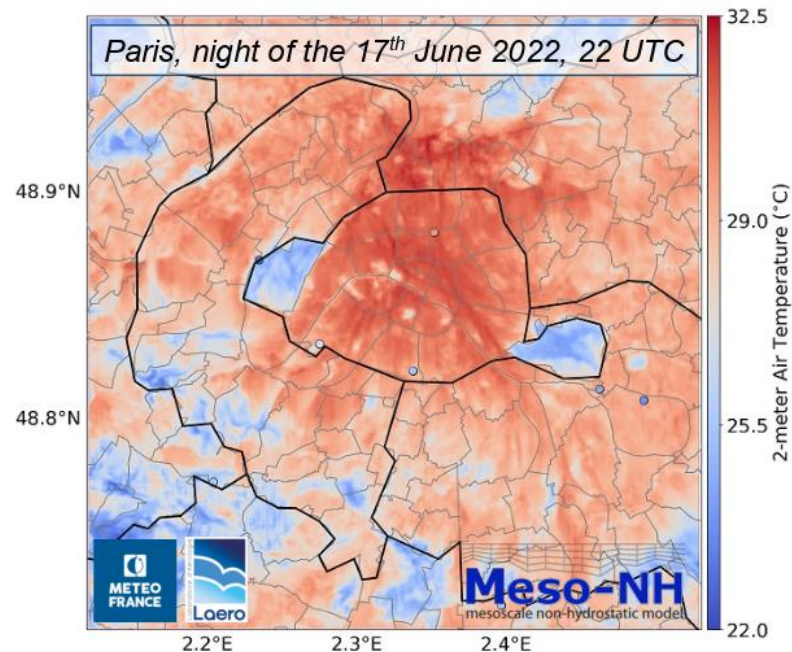
## Modèle de canopée urbaine

- avec géométrie 3D simplifiée, mais...
- qui prend en compte l'ensemble des processus physiques

Utilisé à la base des colonnes d'atmosphère des modèles

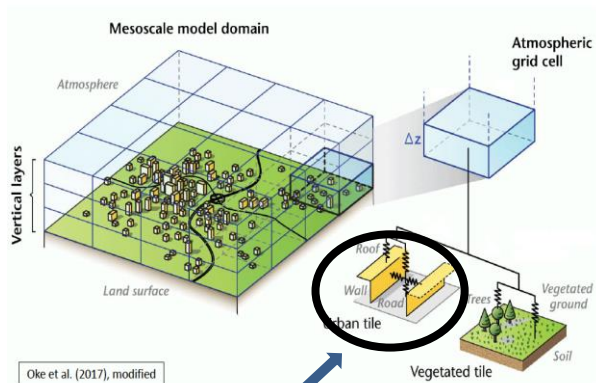
- Météorologiques à (très) fine échelle
- Des (nouveaux) modèles de climat régional

Un modèle à **100m** permet de voir les effets des gros et petits parcs



source : T. Nagel, CNRM, travaux en cours

# Quelles données statistiques ?



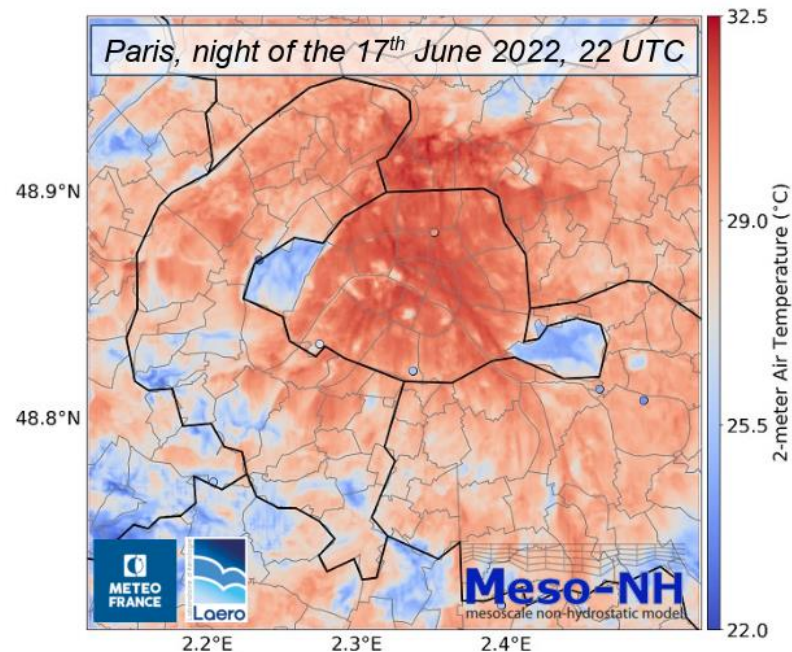
## Pour réaliser les simulations climatiques

- À très fine échelle pour l'adaptation
- Pour les modèles de projection climatique

## Pour exploiter les résultats des simulations climatiques

- Exposition à la chaleur,
- planification des zones de fraîcheur refuges climatiques
- Etudes épidémiologiques (cf présentation de Mathilde Pascal), etc...

Un modèle à **100m** permet de voir les effets des gros et petits parcs



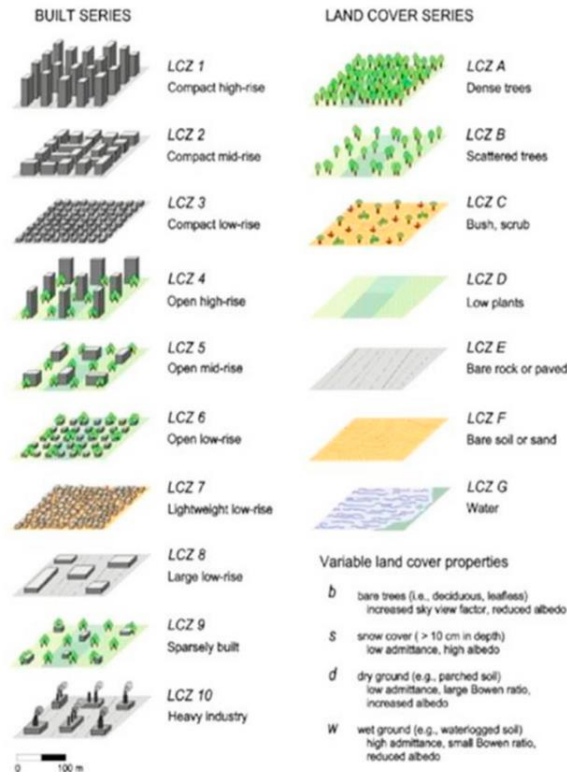
source : T. Nagel, CNRM, travaux en cours

# Besoin de données pour décrire les villes

## À très fine échelle, partout

### Le concept des « Local Climate Zones »

- Occupation du sol, avec focus sur les villes
- Un quartier (approx. 1km<sup>2</sup>) forme une LCZ qui est supposé être homogène en température (de l'air)
- De plus en plus utilisé par les climatologues urbains
- Facilement appréhendé par les **urbanistes**



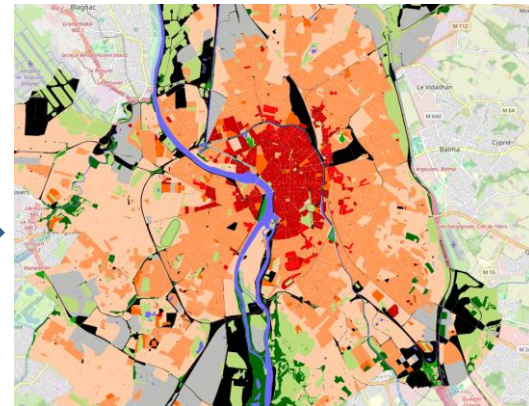
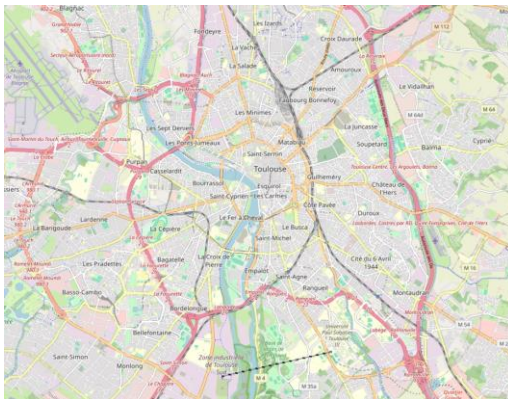
# Besoin de données pour décrire les villes

## À très fine échelle, partout

Comment calculer ces cartes de LCZ ?

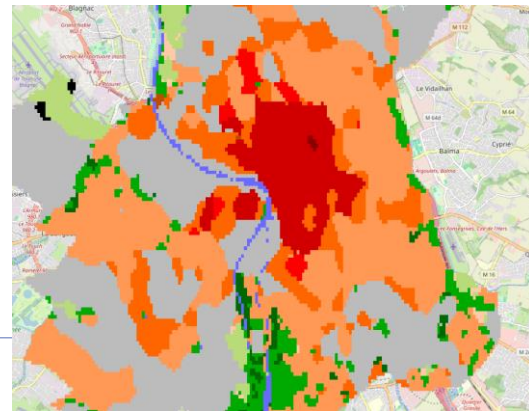
A partir de données de **cadastres de bâtiments**  
et infrastructures, avec le logiciel Geoclimate  
(Bocher et al 2021, Bernard et al 2024)

- Open Street map
- BD Topo



A partir d'**images satellite**  
(en utilisant des zones d'apprentissage  
fournies par un expert)

(Demuzere et al 2022)



# Besoin de données pour décrire les villes

## À très fine échelle, partout

Mais pour plus de **détail**, les LCZ ne suffisent pas

- **Quels types de données sont nécessaires ?**

- 1) Autres indicateurs d'occupation du sol
- 2) Indicateurs de morphologie 3D
- 3) Architecture (matériaux, couleur, ...)
- 4) Indicateurs socio-economiques, Usages
- 5) Végétation urbaine

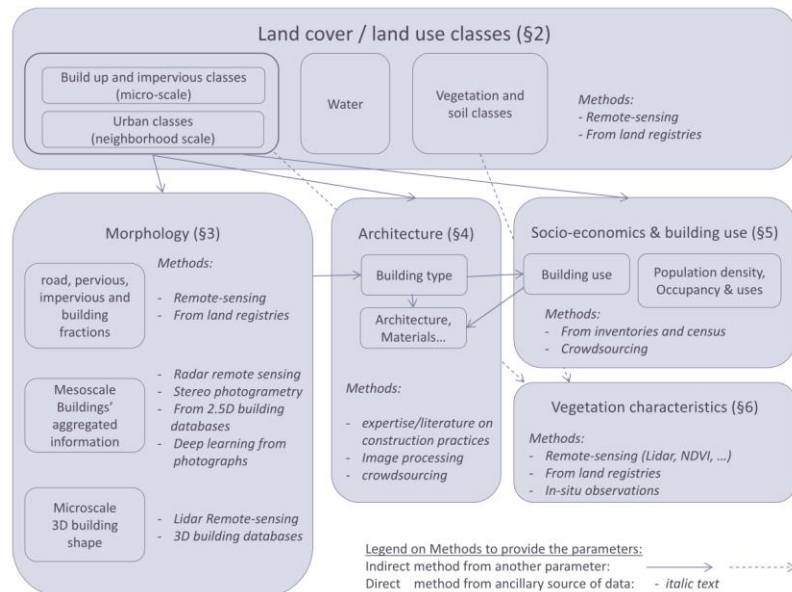


Fig. 1. Overview of the methods to provide the parameters.

source : Masson et al 2020b

- Ces bases de données spécifiques sont rarement disponibles pour n'importe quelle ville.
- Les **organismes nationaux** et **villes** disposent de données clefs à exploiter

# Besoin d'information **locale**, à la bonne échelle, pour permettre l'action

Information « **Locale** » est **très** local :  
—> échelle du quartier

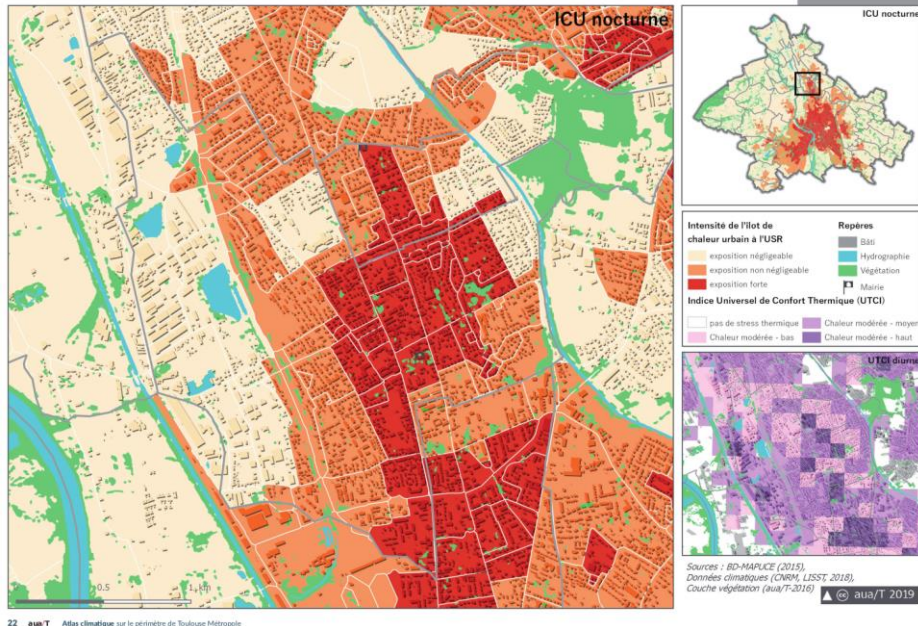
Exemple :

**Atlas climatique Toulouse Métropole**  
<https://www.aua-toulouse.org/atlas-climatique/>

Fait par les urbanistes, avec des chercheurs

A partir de simulations numériques à 250m

Aucamville

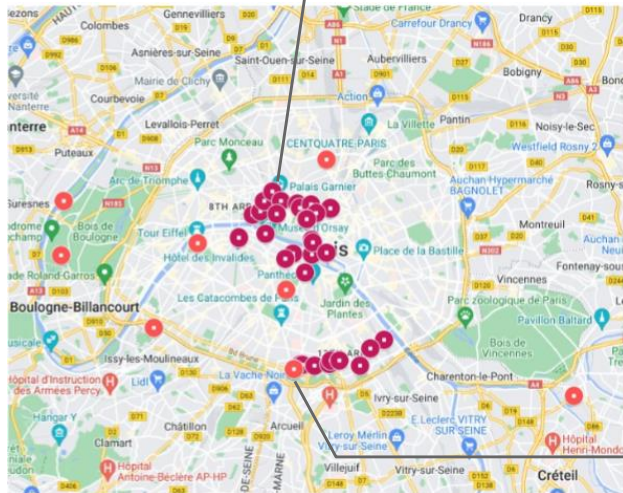
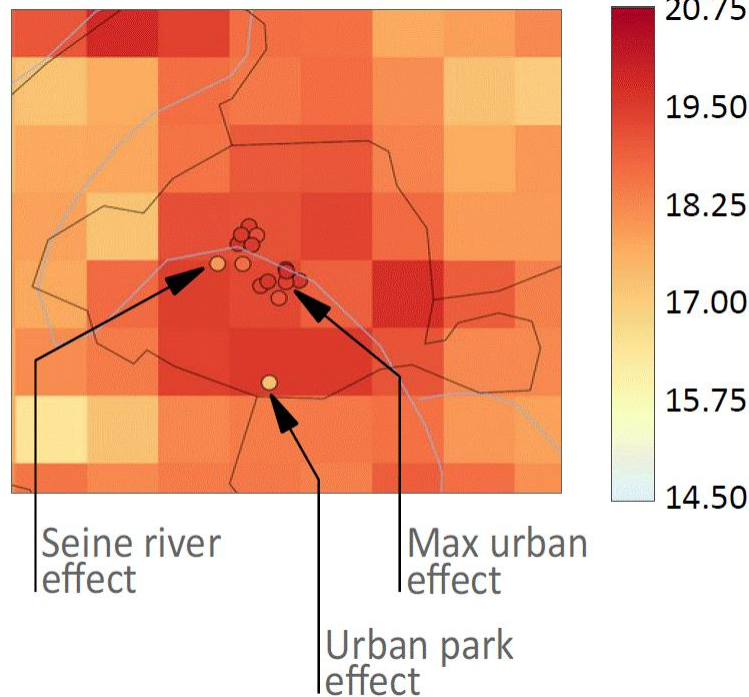


# Modèles de projections climatiques

- Résolution de 2.5km, sur des zones géographiques (France, partie de l'Europe)
- Sur plusieurs décennies
- Passées (évaluation) et futures (projections)

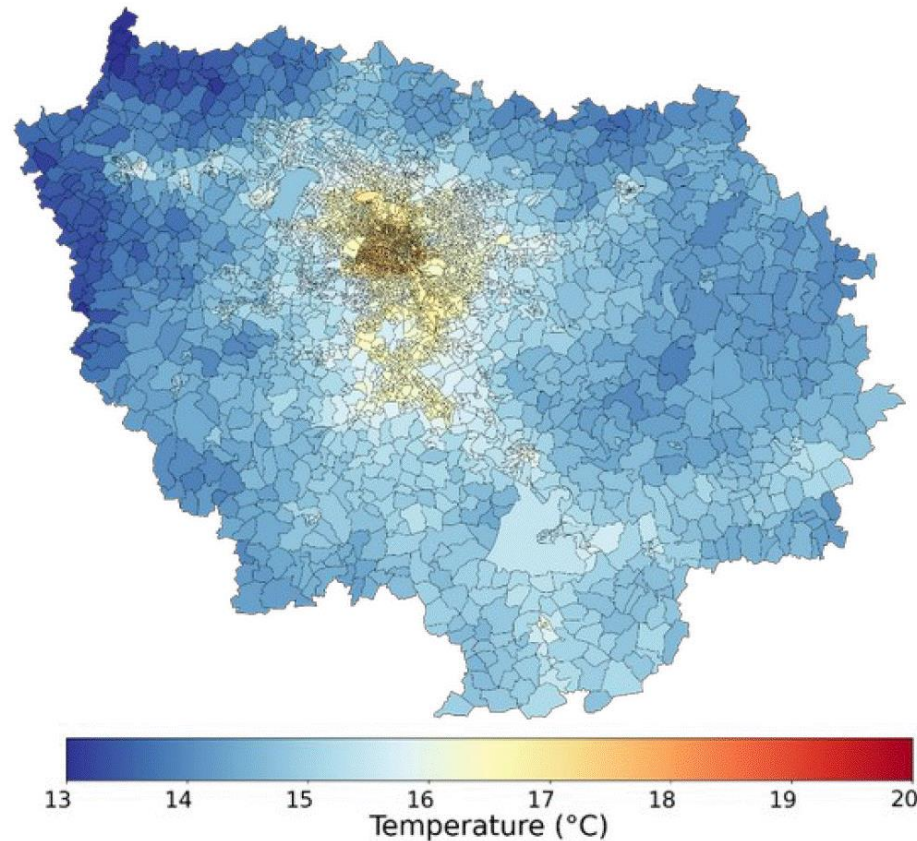
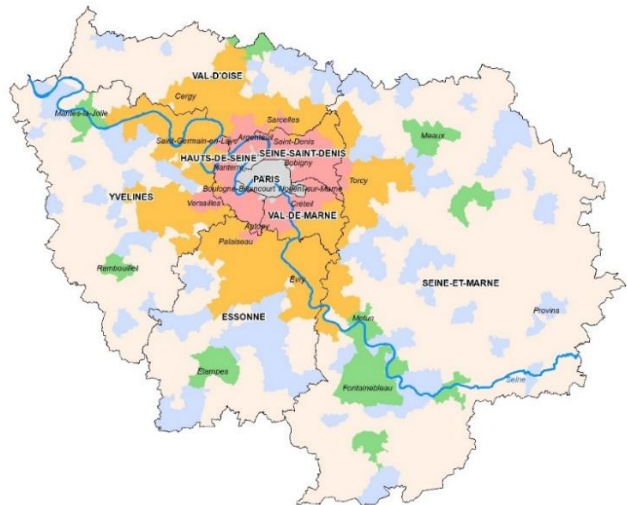


## Evaluation du modèle de climat à 2.5km Température de l'air 29/07/2022 à 4h loc



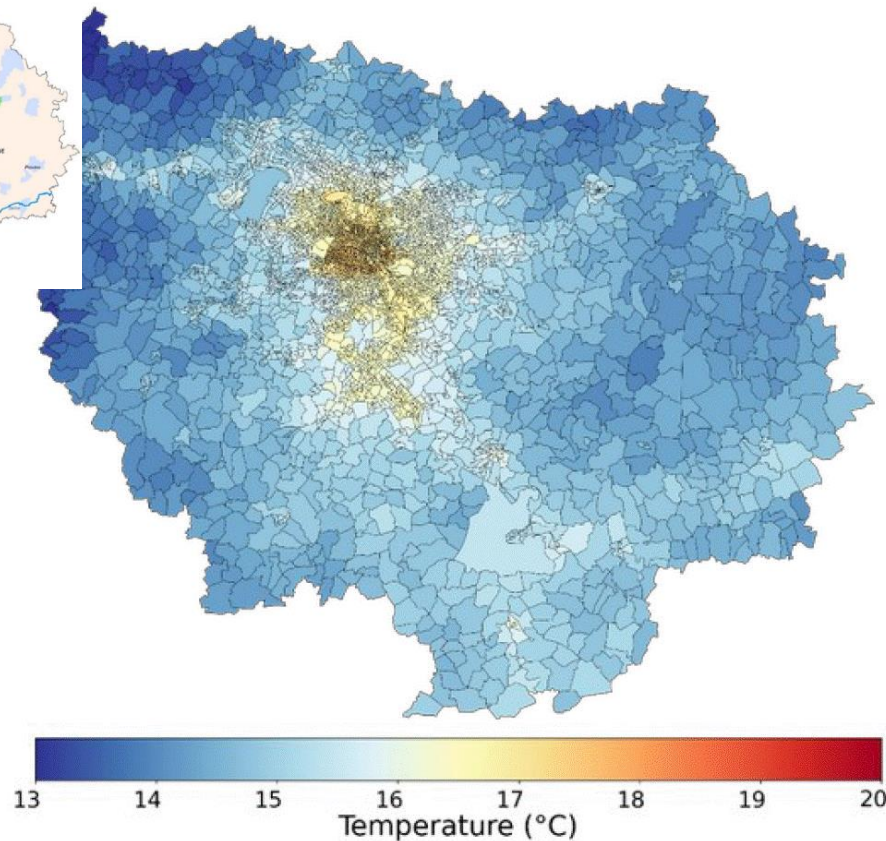
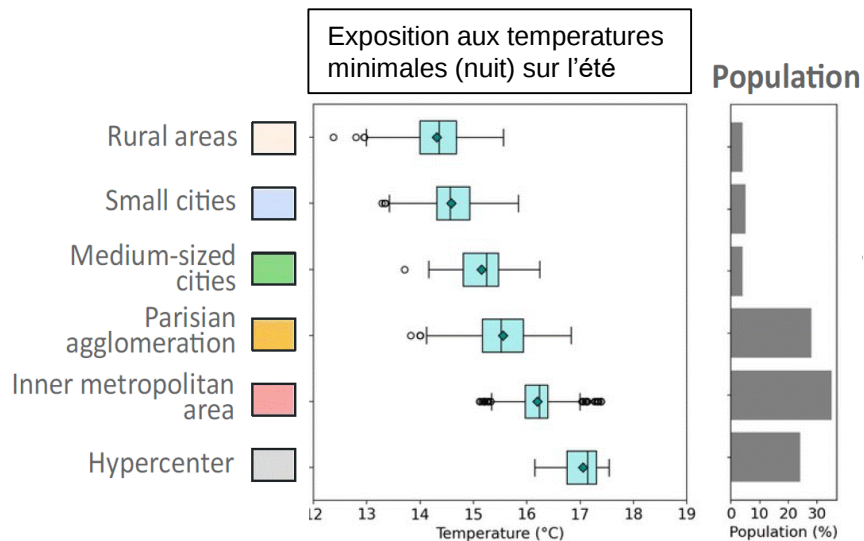
# Exposition de la population à la chaleur

- Données climatiques interpolées sur les communes et les IRIS
- Analyses croisées avec des données démographiques et socio-économiques



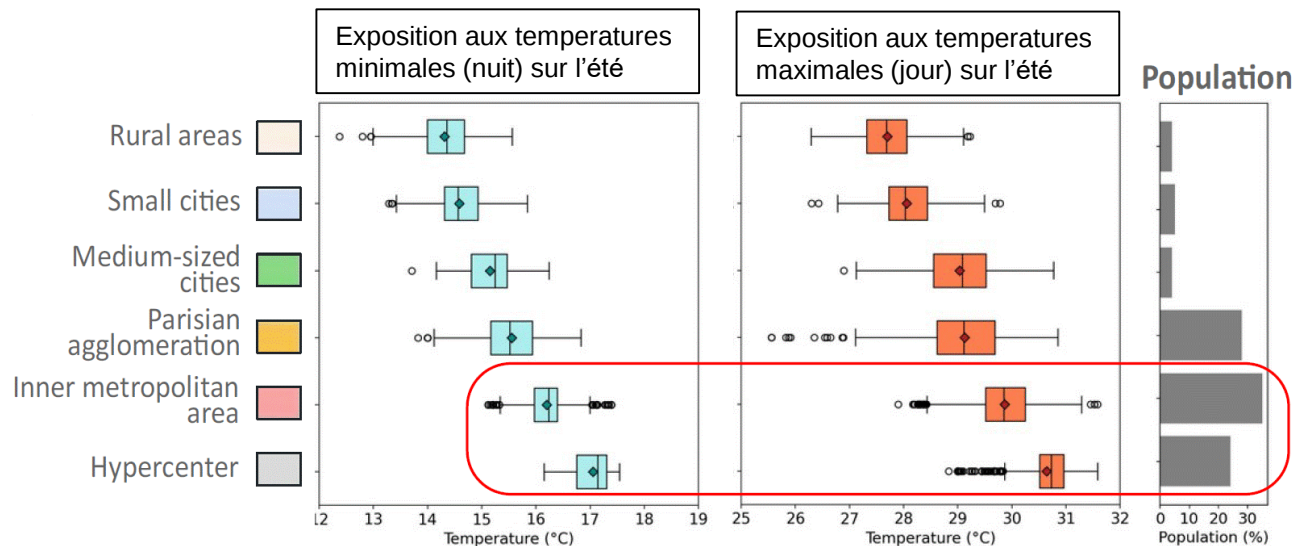
# Exposition de la population à la chaleur

- Données climatiques interpolées sur les communes et les IRIS
- Analyses croisées avec des données démographiques et socio-économiques



# Exposition de la population à la chaleur

- Données climatiques interpolées sur les communes et les IRIS
- Analyses croisées avec des données démographiques et socio-économiques

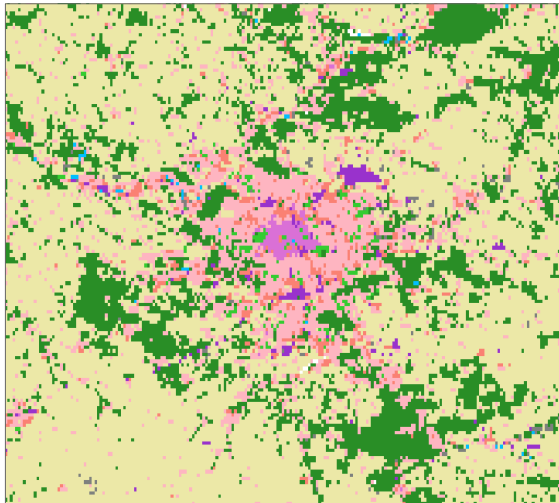


→ Disparité spatiale entre les types de communes

→ Paris centre et la petite couronne sont les zones les plus exposées.  
(et avec plus de 50% of population)

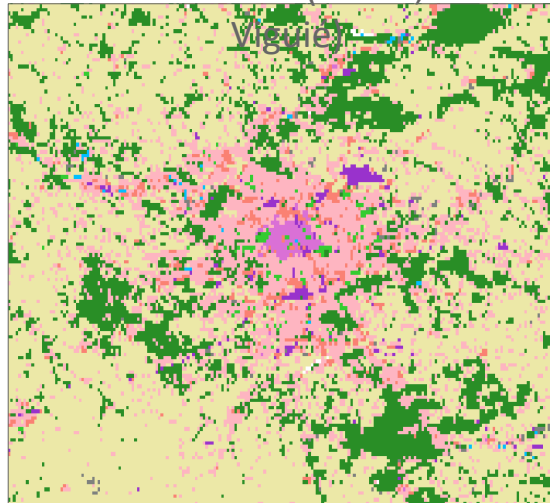
# Effet de l'urbanisation future

Corine Land Cover 2018

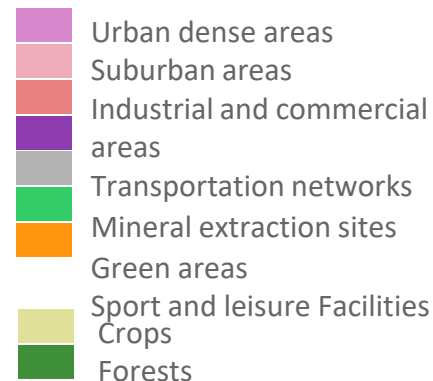


Urbanisation actuelle

SLUM 2050 (CIRED, V.



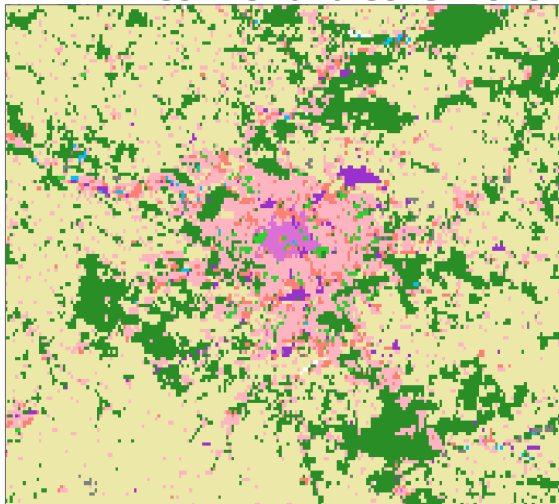
Urbanisation en 2050 (+9%)



- Comparaison de simulations climatiques pour l'urbanisation présente et future
- Sensibilité du climat local à l'urbanisation

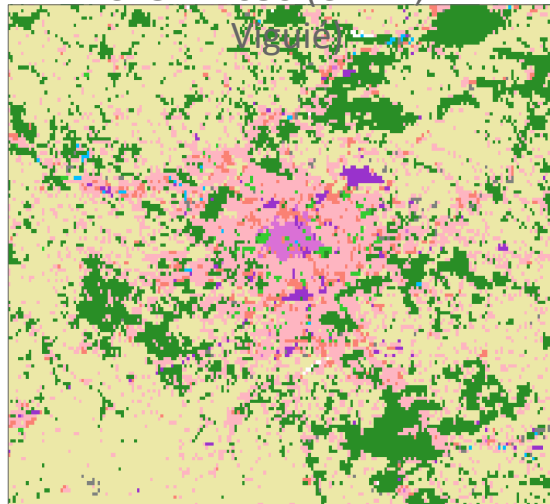
# Effet de l'urbanisation future

Corine Land Cover 2018



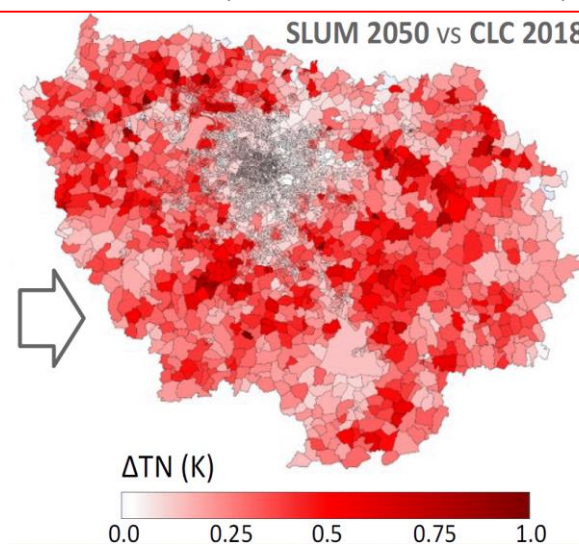
Urbanisation actuelle

SLUM 2050 (CIRED, V.



Urbanisation en 2050 (+9%)

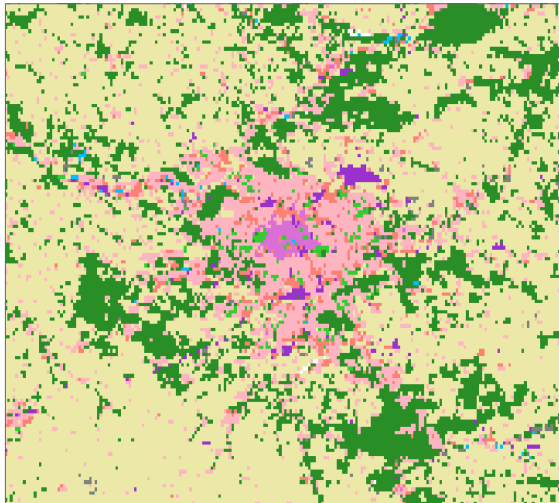
Différence en température minimale nocturne (été)



→ Augmente l'exposition des petites villes et communes Rurales de 0.5 à 1°C la nuit

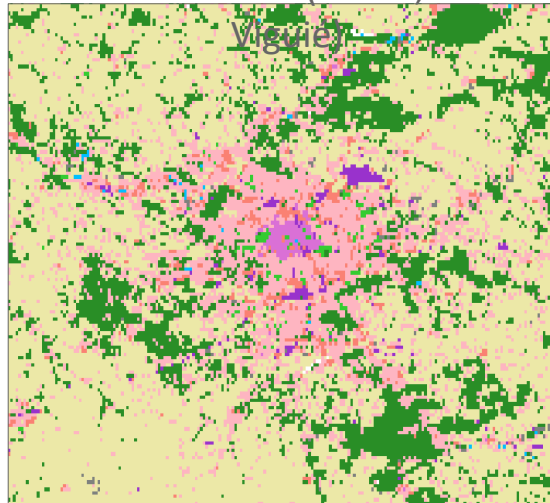
# Effet de l'urbanisation future

Corine Land Cover 2018



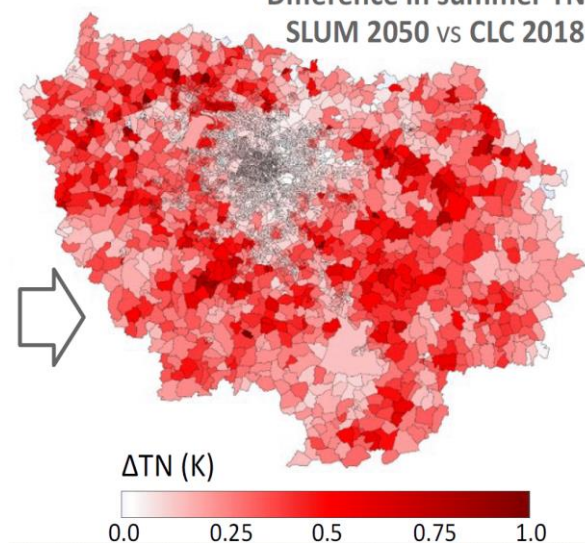
Urbanisation actuelle

SLUM 2050 (CIRED, V.



Urbanisation en 2050 (+9%)

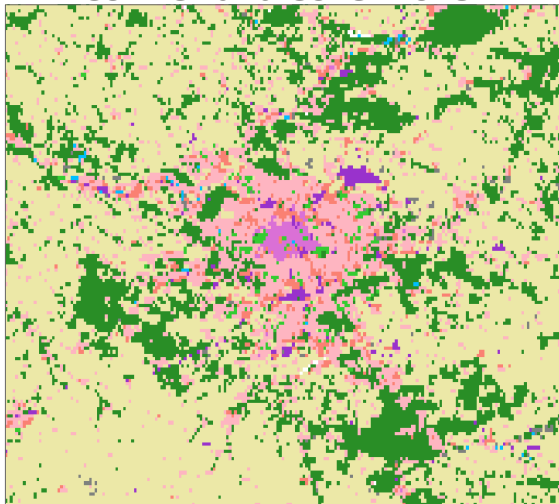
Difference in summer TN  
SLUM 2050 vs CLC 2018



→ Mais ça pose une nouvelle question en lien avec les données statistiques

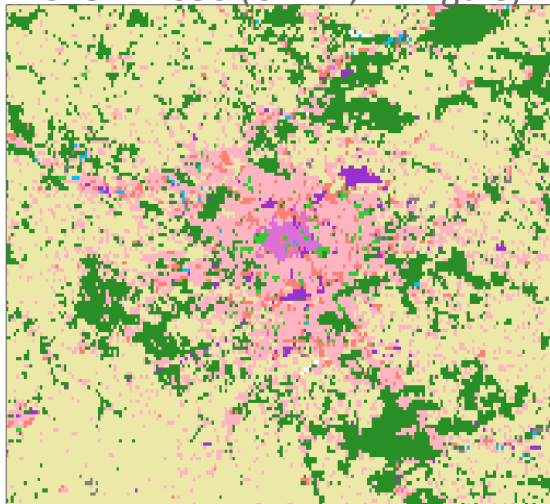
# Effet de l'urbanisation future

Corine Land Cover 2018



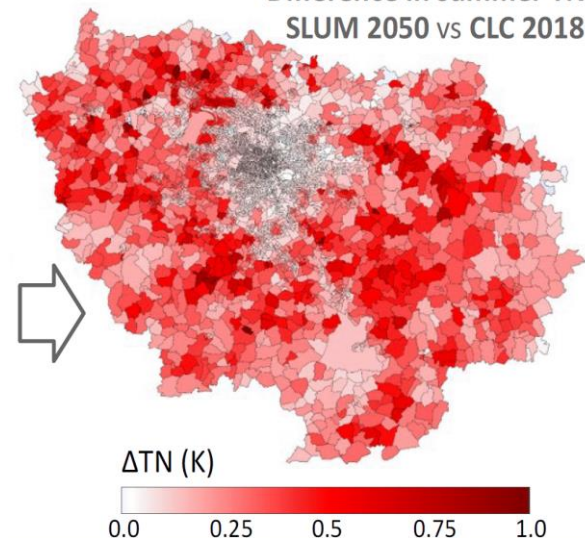
Urbanisation actuelle

SLUM 2050 (CIRED, V. Viguié)



Urbanisation en 2050 (+9%)

Difference in summer TN  
SLUM 2050 vs CLC 2018



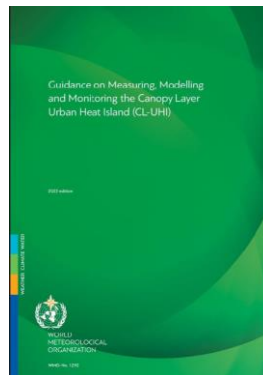
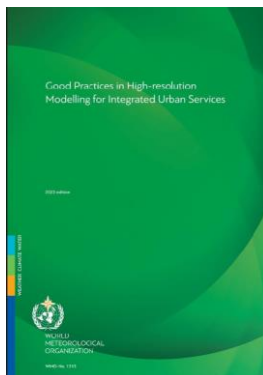
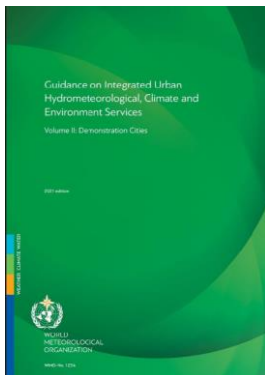
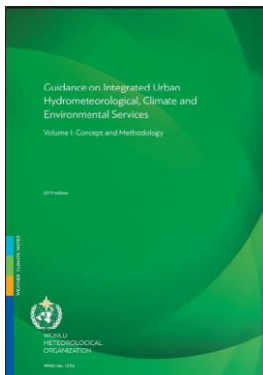
Est-ce possible d'avoir des projections de données statistiques futures à ces échelles ?

# Besoin d'information **locale**, à la bonne échelle, pour permettre l'action

Adapter les villes nécessite :

- Des données géographiques et statistiques
- Une approche multi-disciplinaire

→ Emergence des **services climatiques urbains**



4 guides sur les services climatiques urbains  
publiés par l'Organisation Météorologique Mondiale  
entre 2019 et 2024

Bernard, J., Bocher, E., Gousseff, M., Leconte, F., and Le Saux Wiederhold, E.: A generic algorithm to automatically classify urban fabric according to the local climate zone system: implementation in GeoClimate 0.0.1 and application to French cities, *Geosci. Model Dev.*, 17, 2077–2116, , 2024.

Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., van Vliet, J., and Bechtel, B.: A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 3835–3873, , 202

Hove, Bert & Steeneveld, Gert-Jan & Jacobs, Cor & Heusinkveld, Bert & Elbers, Jan & Moors, Eddy & Holtslag, Bert. (2011). Exploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch Cities. *Plant Journal - PLANT J*.

Lipson, M.J., Grimmond, S., Best, M., Abramowitz, G., Coutts, A., Tapper, N., Baik, J.-J., Beyers, M., Blunn, L., Boussetta, S., Bou-Zeid, E., De Kauwe, M.G., de Munck, C., Demuzere, M., Faticchi, S., Fortuniak, K., Han, B.-S., Hendry, M.A., Kikegawa, Y., Kondo, H., Lee, D.-I., Lee, S.-H., Lemonsu, A., Machado, T., Manoli, G., Martilli, A., Masson, V., McNorton, J., Meili, N., Meyer, D., Nice, K.A., Oleson, K.W., Park, S.-B., Roth, M., Schoetter, R., Simón-Moral, A., Steeneveld, G.-J., Sun, T., Takane, Y., Thatcher, M., Tsiringakis, A., Varentsov, M., Wang, C., Wang, Z.-H. and Pitman, A.J. (2024), Evaluation of 30 urban land surface models in the Urban-PLUMBER project : Phase 1 results. *Q J R Meteorol Soc.*, doi:10.1002/qj.4589

Marquès E., V. Masson, P. Naveau, O. Mestre, V. Dubreuil and Y. Richard (2022) : Urban heat island estimation from crowdsensing thermometers embedded in personal cars, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 103(4), E1098-E1113, doi:10.1175/BAMS-D-21-0174.1

Masson V., A. Lemonsu, J. Hidalgo, J. Voogt (2020) : Urban Climates and Climate Change, *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 411-444, doi:10.1146/annurev-environ-012320-083623

Masson V., W. Heldens, E. Bocher, M. Bonhomme, B. Bucher, C. Burmeister, C. de Munck, T. Esch, J. Hidalgo, F. Kanani-Sühring, Y-T Kwok, A. Lemonsu, J.-P. Lévy, B. Maronga, D. Pavlik, G. Petit, L. See, R. Schoetter, N. Tornay, A. Votsis, J. Zeidler, 2020 : City-descriptive input data for urban climate models : Model requirements, data sources and challenges, *Urban Climate*, 31, doi:10.1016/j.uclim.2019.100536

Milošević, D., Savić, S., Kresoja, M. *et al.* Analysis of air temperature dynamics in the “local climate zones” of Novi Sad (Serbia) based on long-term database from an urban meteorological network. *Int J Biometeorol* **66**, 371–384 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02058-w>

Oke TR, Mills G, Christen A, Voogt J. 2017. *Urban Climate*. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press

Ren C., R. Yang, C. Cheng, P. Xing, X. Fang, S. Zhang, H. Wang, Y. Shi, X. Zhang, Y. T. Kwok, E. Ng, Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan – The implementation in Chinese cities, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 182, 2018, Pages 170-188, doi 10.1016/j.jweia.2018.09.023.

World Meteorol. Organ. (WMO). 2019. *Guidance on Integrated Urban Hydrometeorological, Climate and Environmental Services*, Vol. 1: Concept and Methodology. Geneva: WMO, WMO-No.

World Meteorol. Organ. (WMO). 2021. *Guidance on Integrated Urban Hydrometeorological, Climate and Environmental Services*, Vol. 2: Demonstration Cities, Geneva: WMO, WMO-No. 1234

World Meteorol. Organ. (WMO). 2023, *Guidance on Measuring, Modelling and Monitoring the Canopy Layer Urban Heat Island (CL-UHI)*, Geneva: WMO. WMO-No. 1292

World Meteorol. Organ. (WMO). 2023, *Good Practices in High-resolution Modelling for Integrated Urban Services*, Geneva: WMO. WMO-No. 1313