

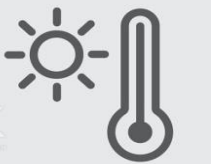
Étude hydro-climatique à l'échelle de la métropole nantaise : application du modèle TEB

F. Betou, K. Chancibault, A. Ruas, E. Gaume
Laboratoire Eau & Environnement (département GERS)
Université Gustave Eiffel

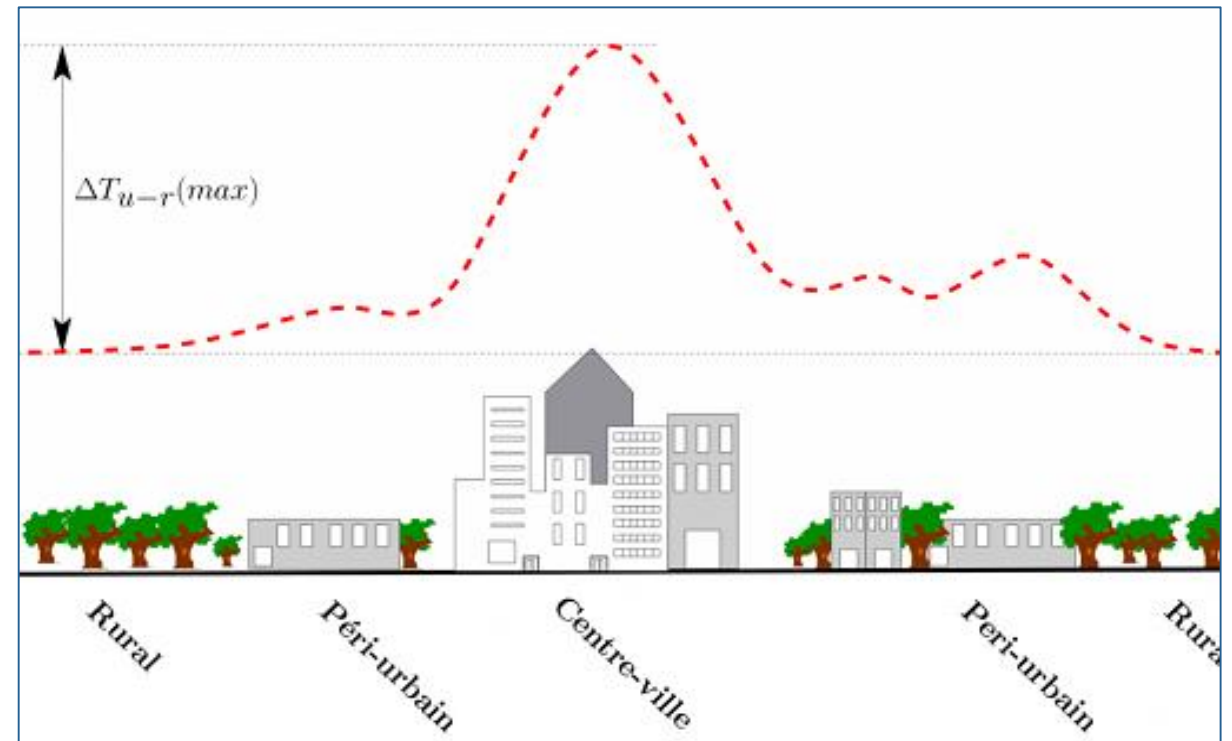
Impact de l'urbanisation sur le bilan énergétique

Bilan énergétique perturbé :

- Phénomène d'îlot de chaleur urbain
- Augmentation des températures en zone urbaine
- Stress thermique plus fréquent

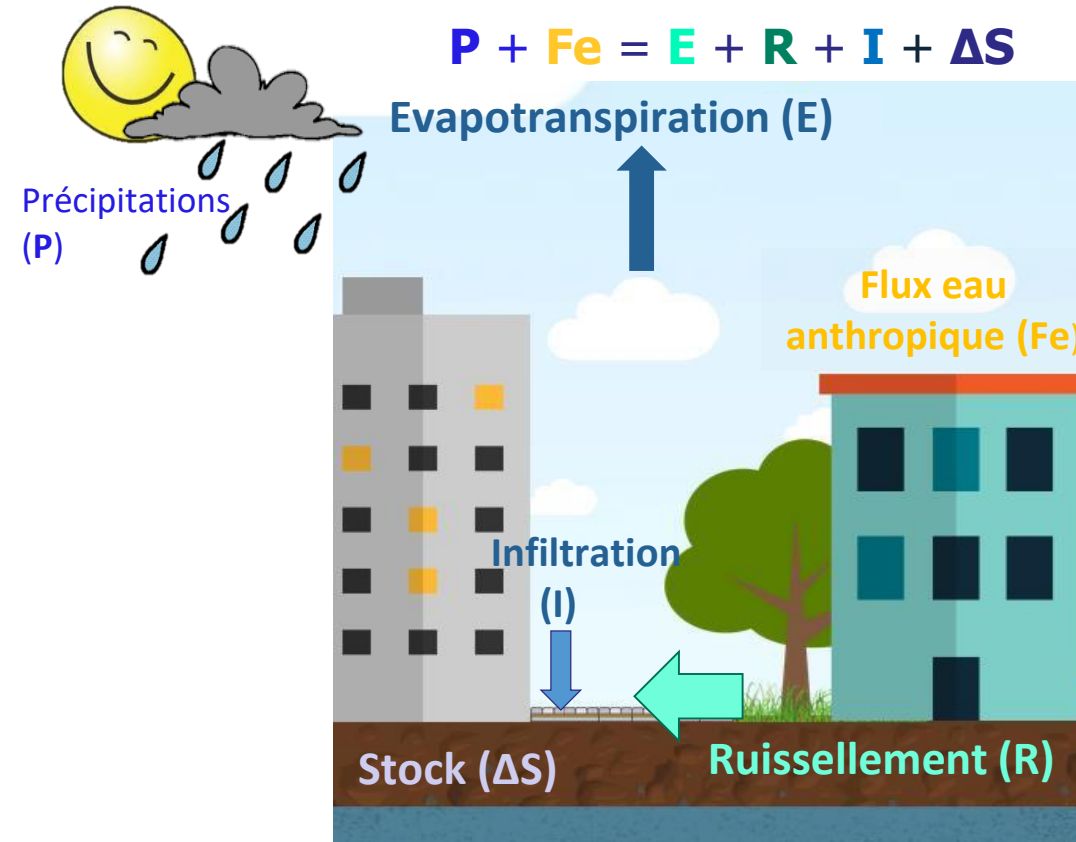
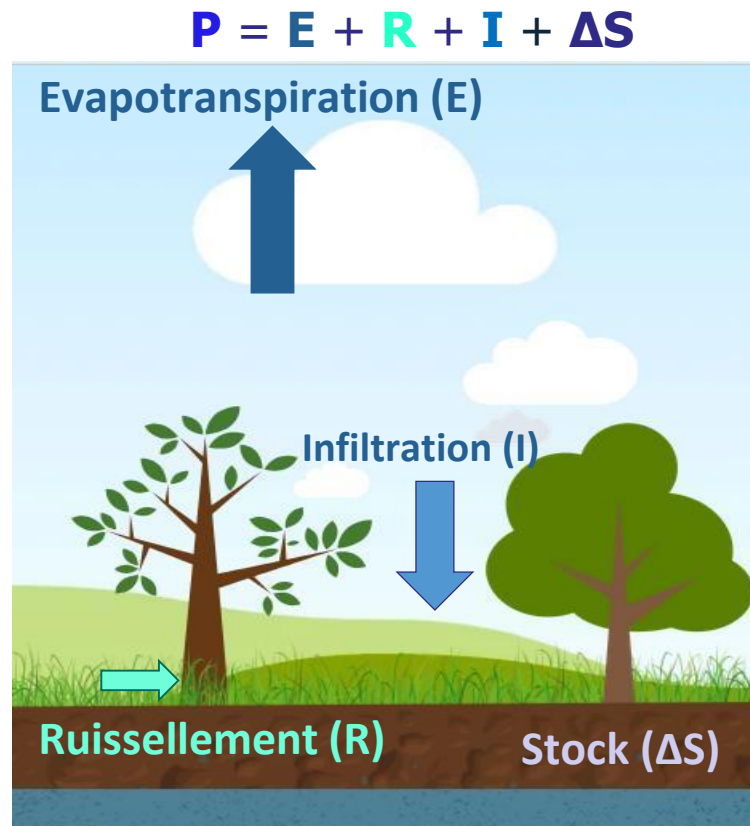


Vague de chaleur en
France en 2003:
15000 victimes
(Grimmond et al. 2010)



Schématisation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Source : Cerema

Impact de l'urbanisation sur le bilan hydrologique



0%

Urbanisation

75% - 100%

Impact de l'urbanisation sur le bilan hydrologique

Bilan hydrique perturbé :

- Fréquence et intensité crues et étiages des petits cours d'eau
- Déversements et pollution



Inondation à Nantes, le 19 juin 2024. Source : Ouest-France



Inondation à Valence (Espagne), le 29 octobre 2024.
Source : La Voix du Nord

Changement climatique en France

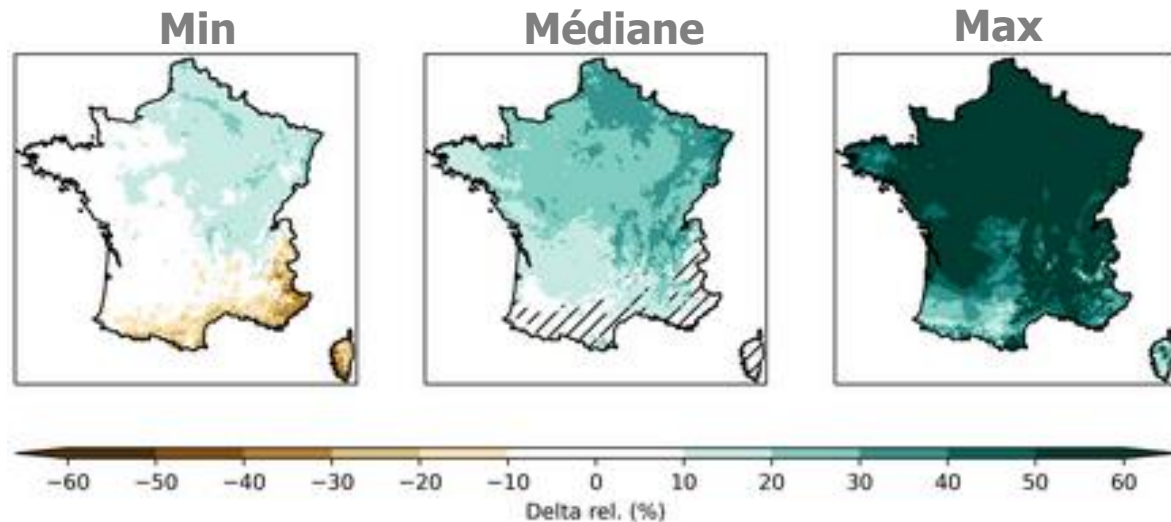
Des températures en hausse continue jusqu'en fin de siècle

- + de jours de canicules ou jours de vague de chaleur
- - de vagues de froids ou jours de gel

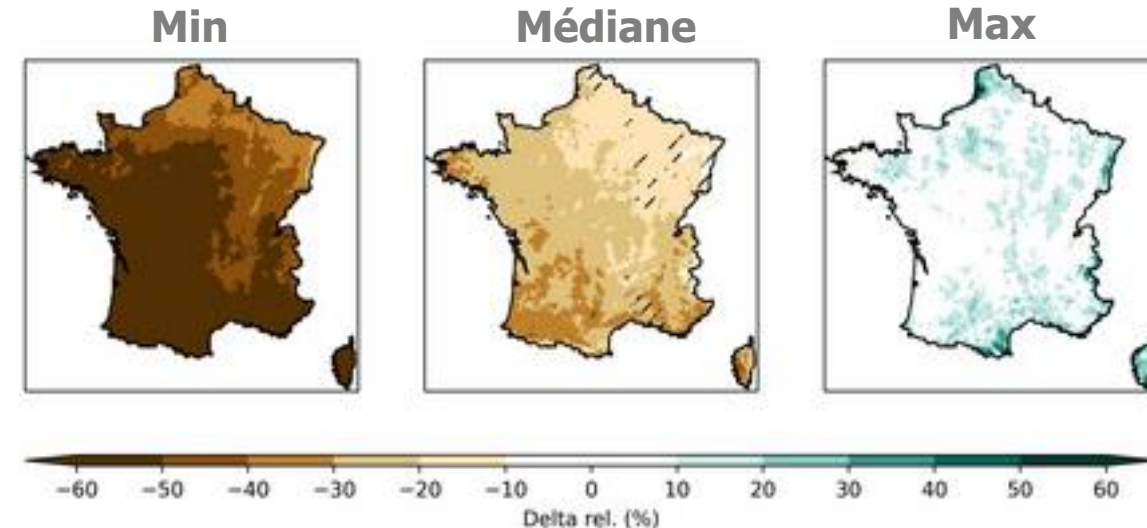
Des régimes de pluie qui évoluent

- Précipitations avec de fortes incertitudes

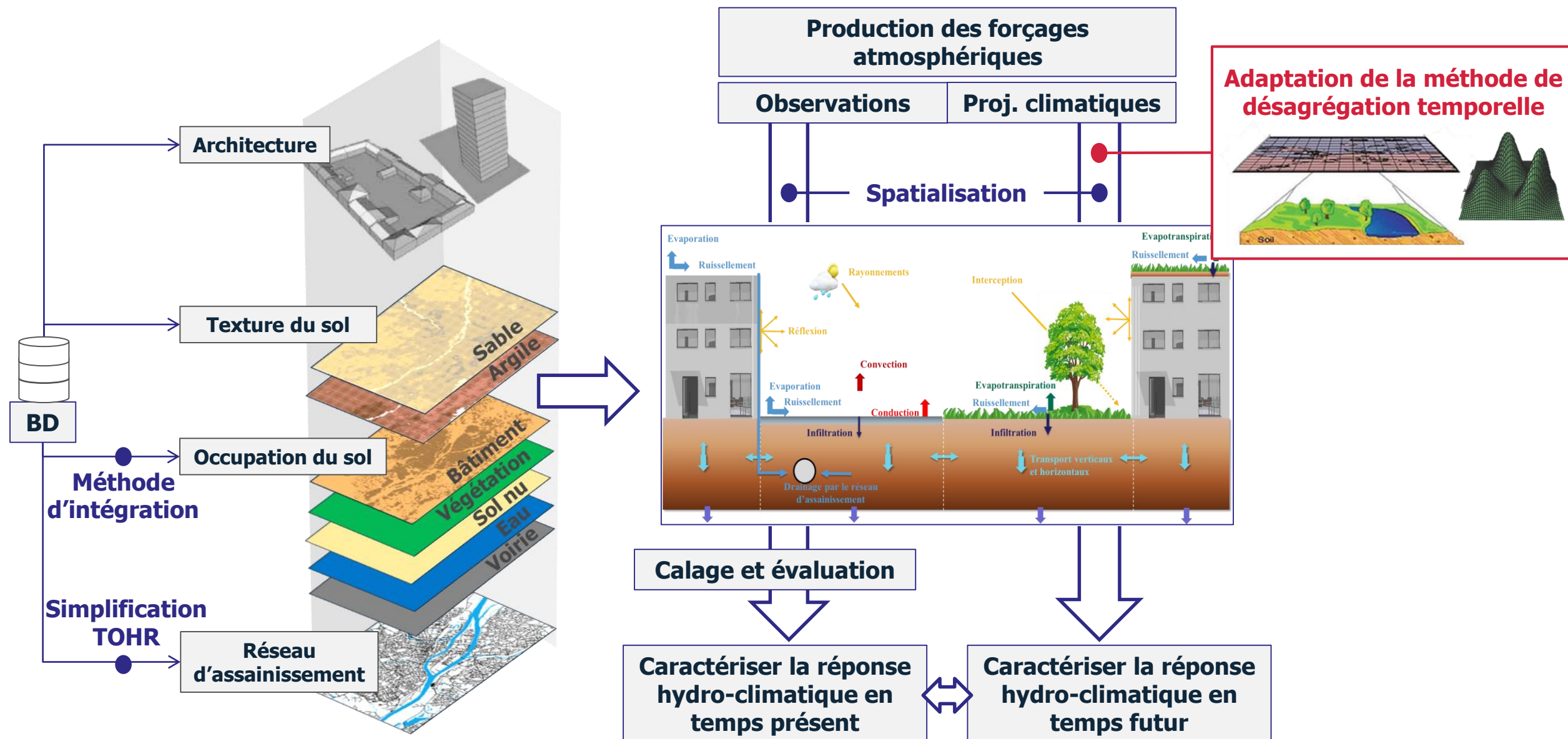
➤ **accentuation des effets indésirables de l'urbanisation**



Évolution du cumul hivernal de précipitation de l'ensemble Explore2-2024 à l'horizon 2100 pour le scénario RCP8.5. Source : DRIAS



Évolution du cumul estival de précipitation de l'ensemble Explore2-2024 à l'horizon 2100 pour le scénario RCP8.5. Source : DRIAS



Site d'étude – Nantes Métropole

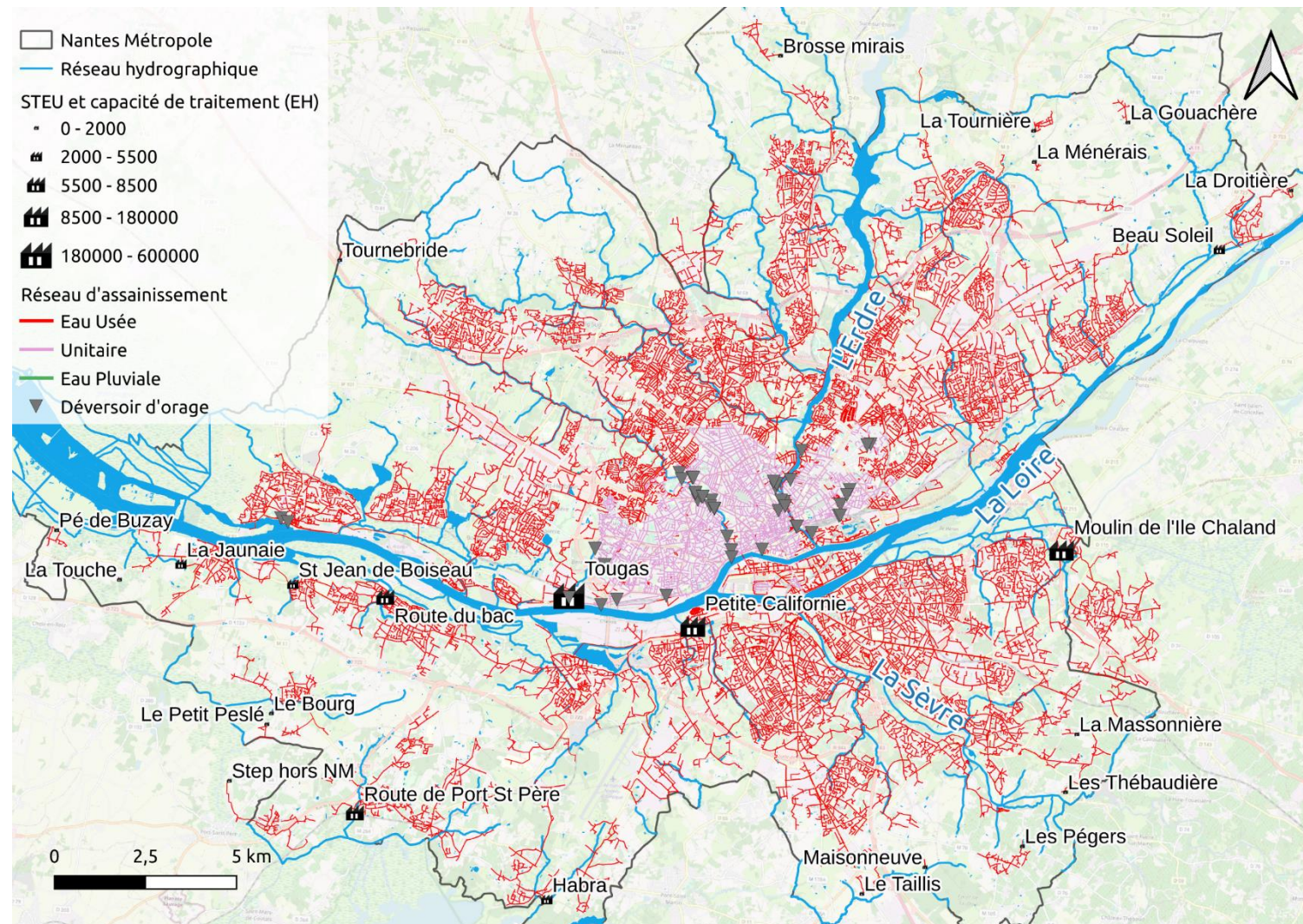
- 24 communes
- 670 000 hab (INSEE, 2021)
- 523 km²
- Dont 30% sont urbanisés (<https://metropole.nantes.fr/communes>, consulté en juin 2024)



Réseau hydrographique

Site d'étude – Nantes Métropole

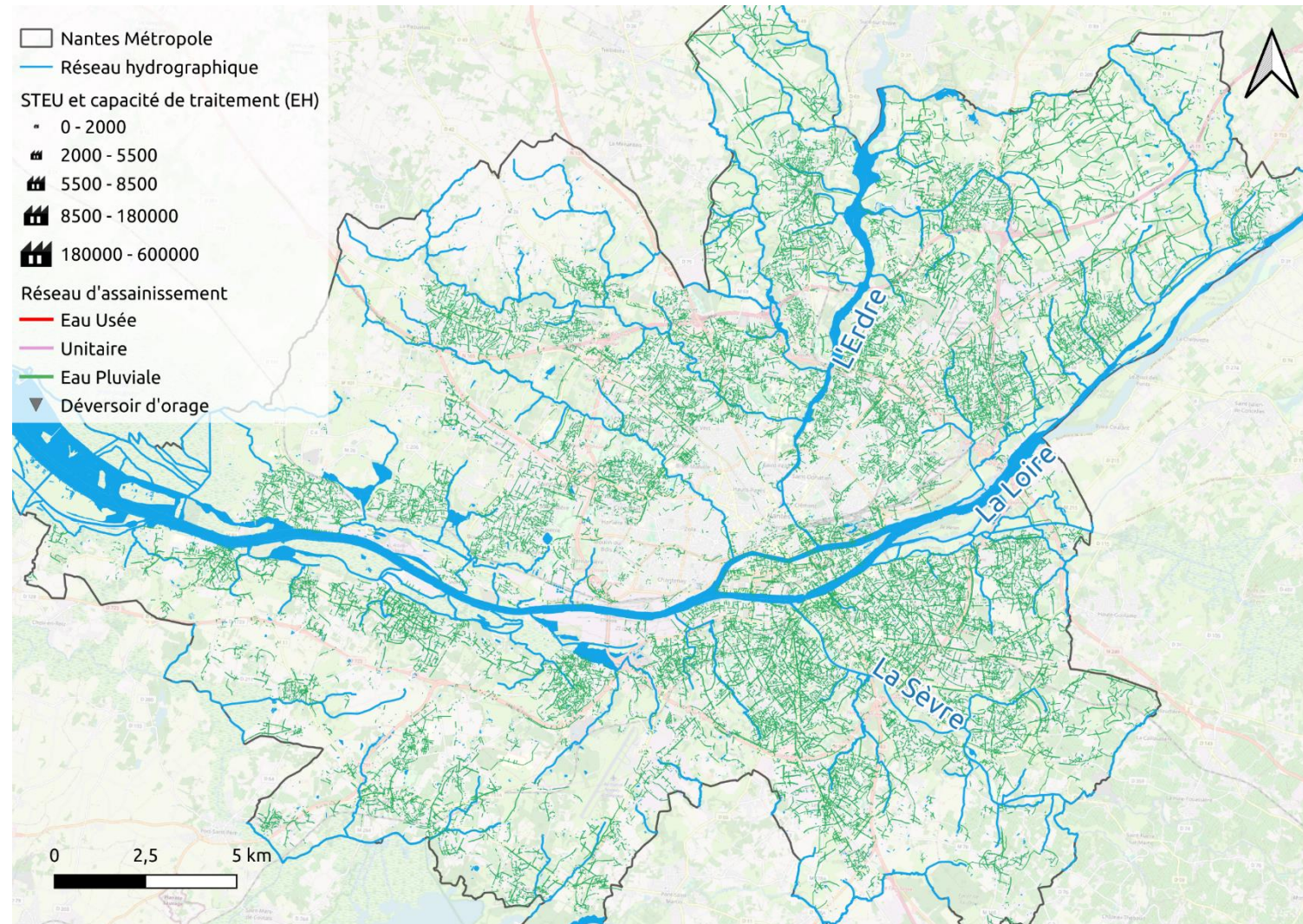
- 24 communes
- 670 000 hab (INSEE, 2021)
- 523 km²
- Dont 30% sont urbanisés (<https://metropole.nantes.fr/communes>, consulté en juin 2024)



Réseau d'assainissement unitaire (rose) et d'eaux usées (rouge)

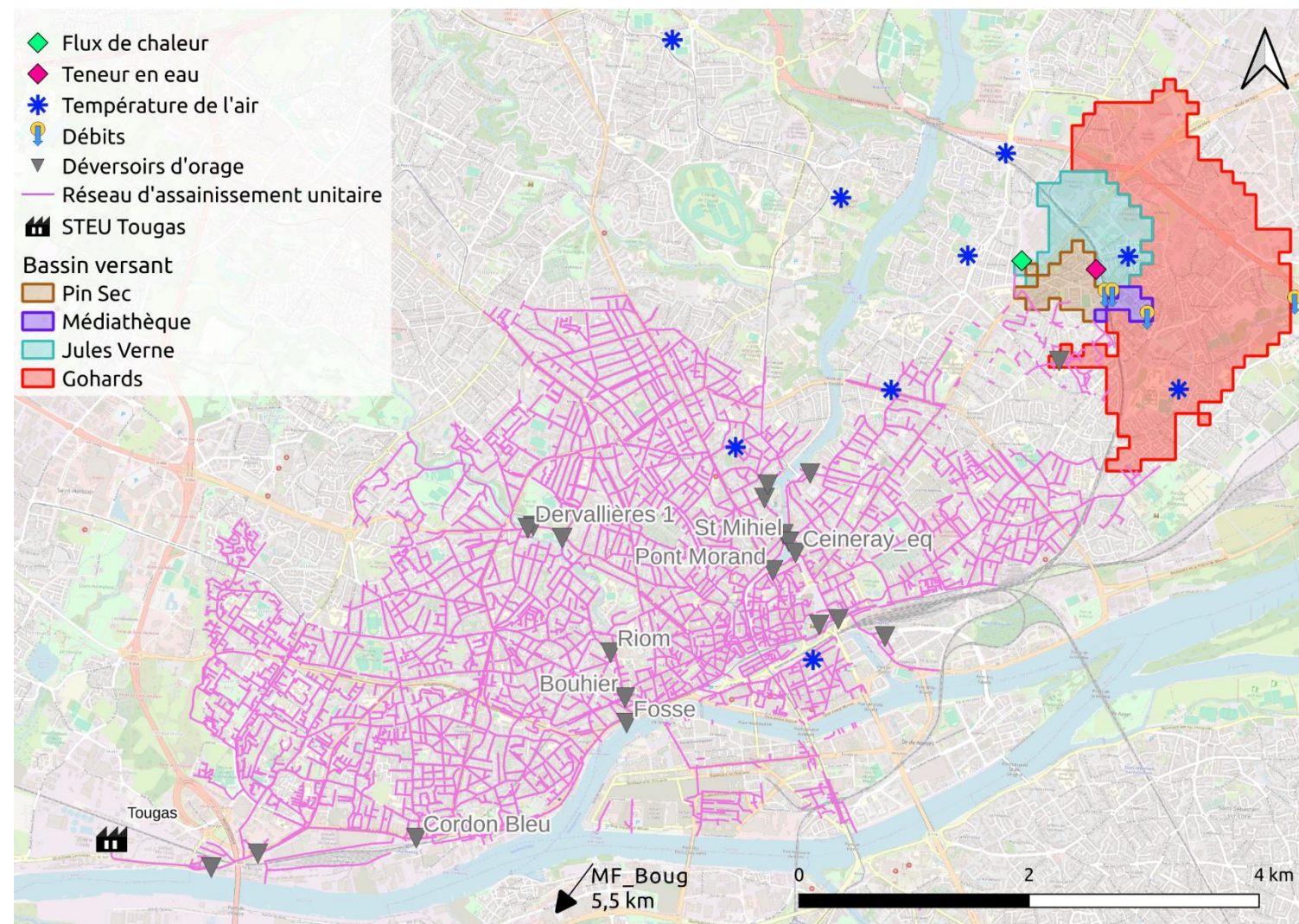
Site d'étude – Nantes Métropole

- 24 communes
- 670 000 hab (INSEE, 2021)
- 523 km²
- Dont 30% sont urbanisés (<https://metropole.nantes.fr/communes>, consulté en juin 2024)



Site d'étude – Nantes Métropole

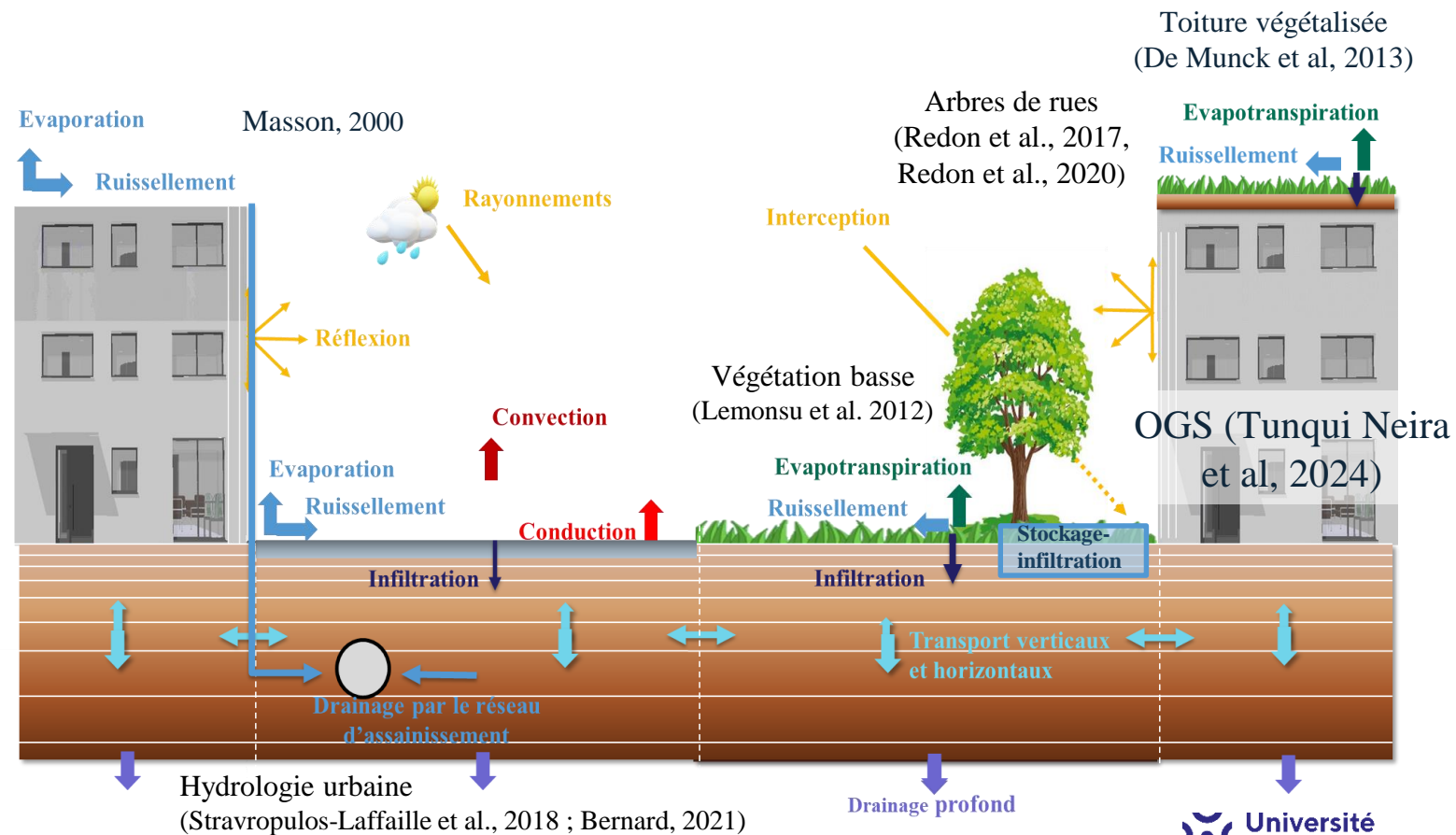
- 24 communes
- 670 000 hab (INSEE, 2021)
- 523 km²
- Dont 30% sont urbanisés
(<https://metropole.nantes.fr/communes>, consulté en juin 2024)
- Des données disponibles :
 - ONEVU¹
 - Collaboration avec Nantes Métropole
- Nantes Métropole, objet d'étude
 - ANR PermePolis, 2024-2027
 - H2020 URBINAT, 2018-2023
 - Thèse S. Chavez, 2024



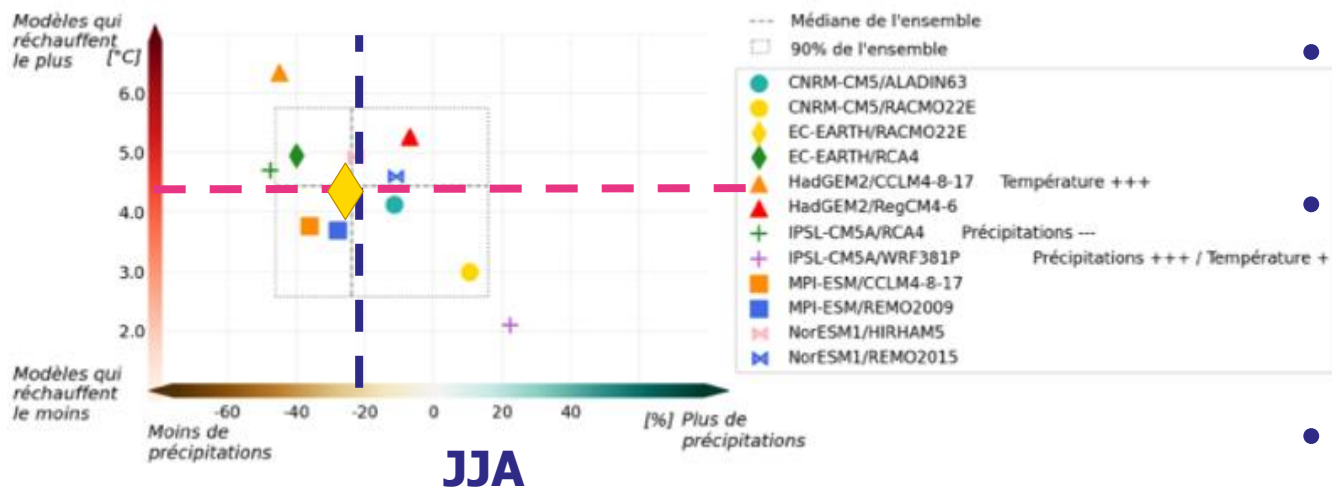
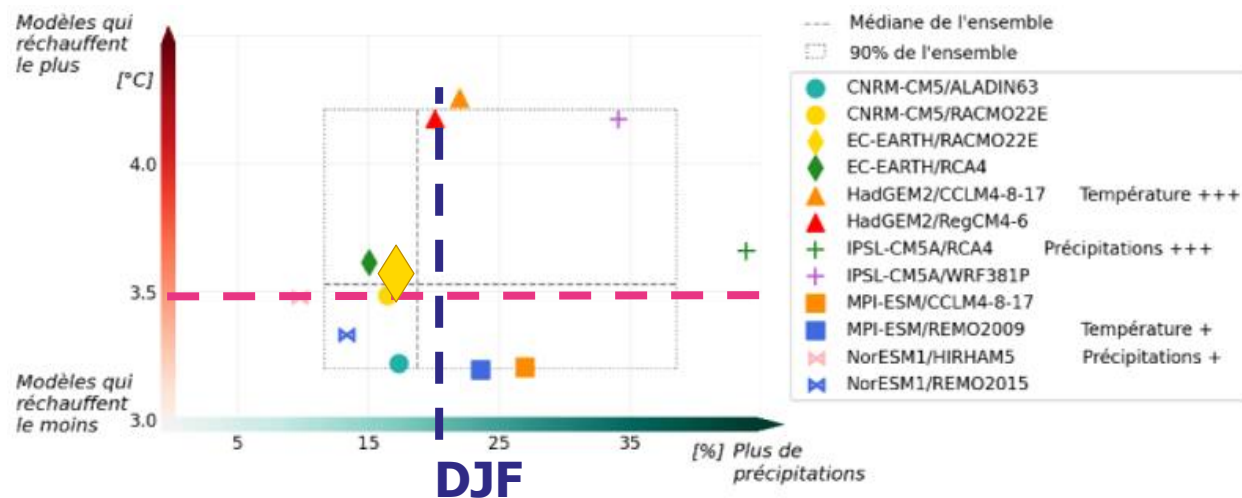
TEB un modèle hydro-climatique urbain

Un outil :

- Adapté à l'étude à l'échelle de la ville
- Microclimatique dans sa version initiale
- Qui intègre la végétation au sein de la rue
- Qui couple l'hydrologie et le microclimat
- Qui représente des solutions d'adaptation



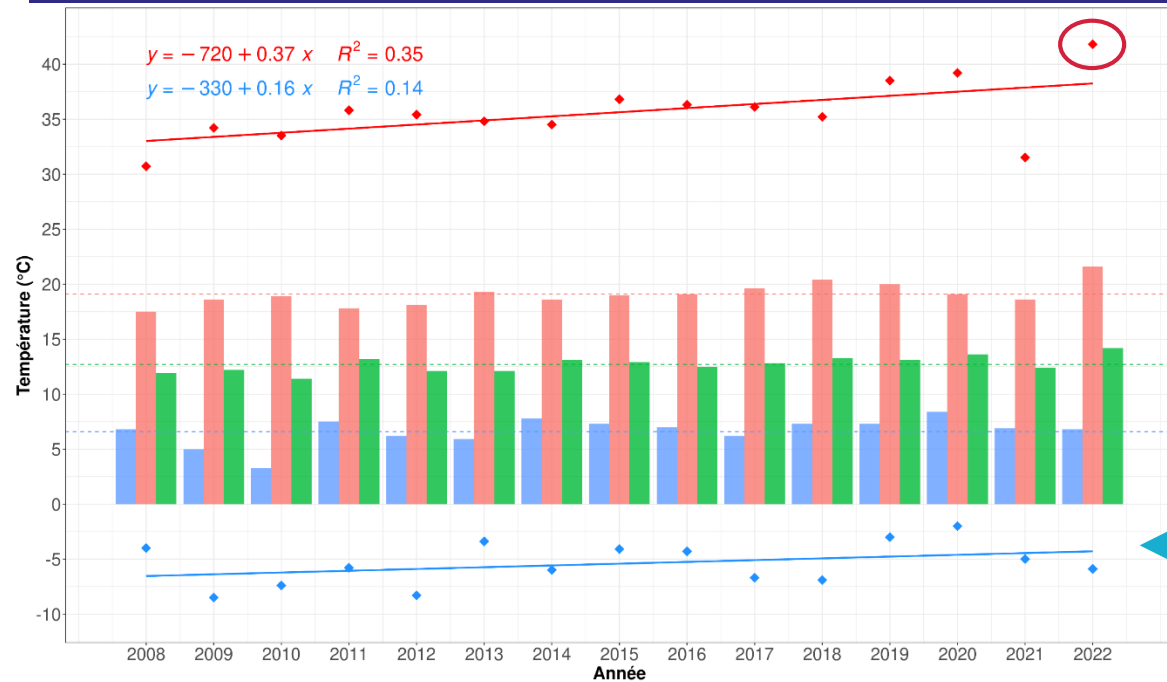
Cadre de modélisation : temps futur



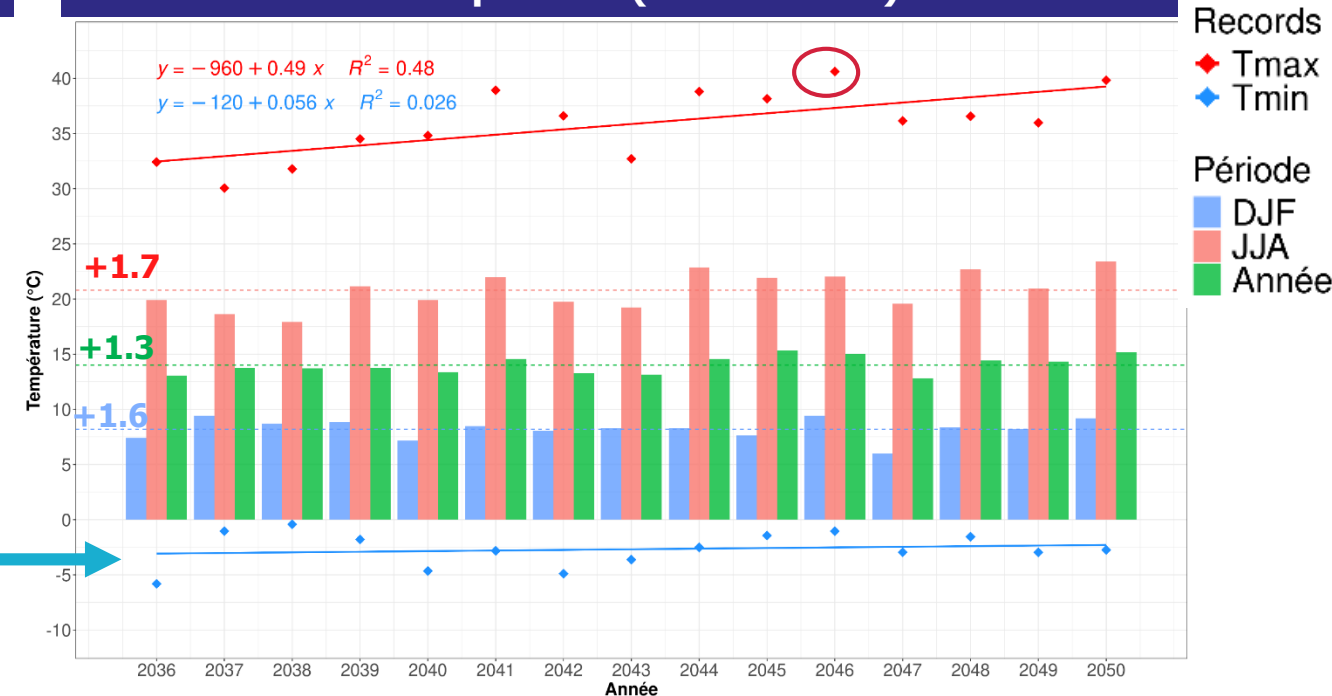
- Données disponibles : scénarios RCP, projet CMIP5
- RCP 8.5
- Précipitations de -20% en été, + 20% en hiver
- Températures +4 à 5°C en été et 3.5°C en hiver
- GCM/RCM sélectionné : EC-EARTH/RACMO22E

Cadre de modélisation : comparaison des températures de forçages

Temps présent (2008 – 2022)



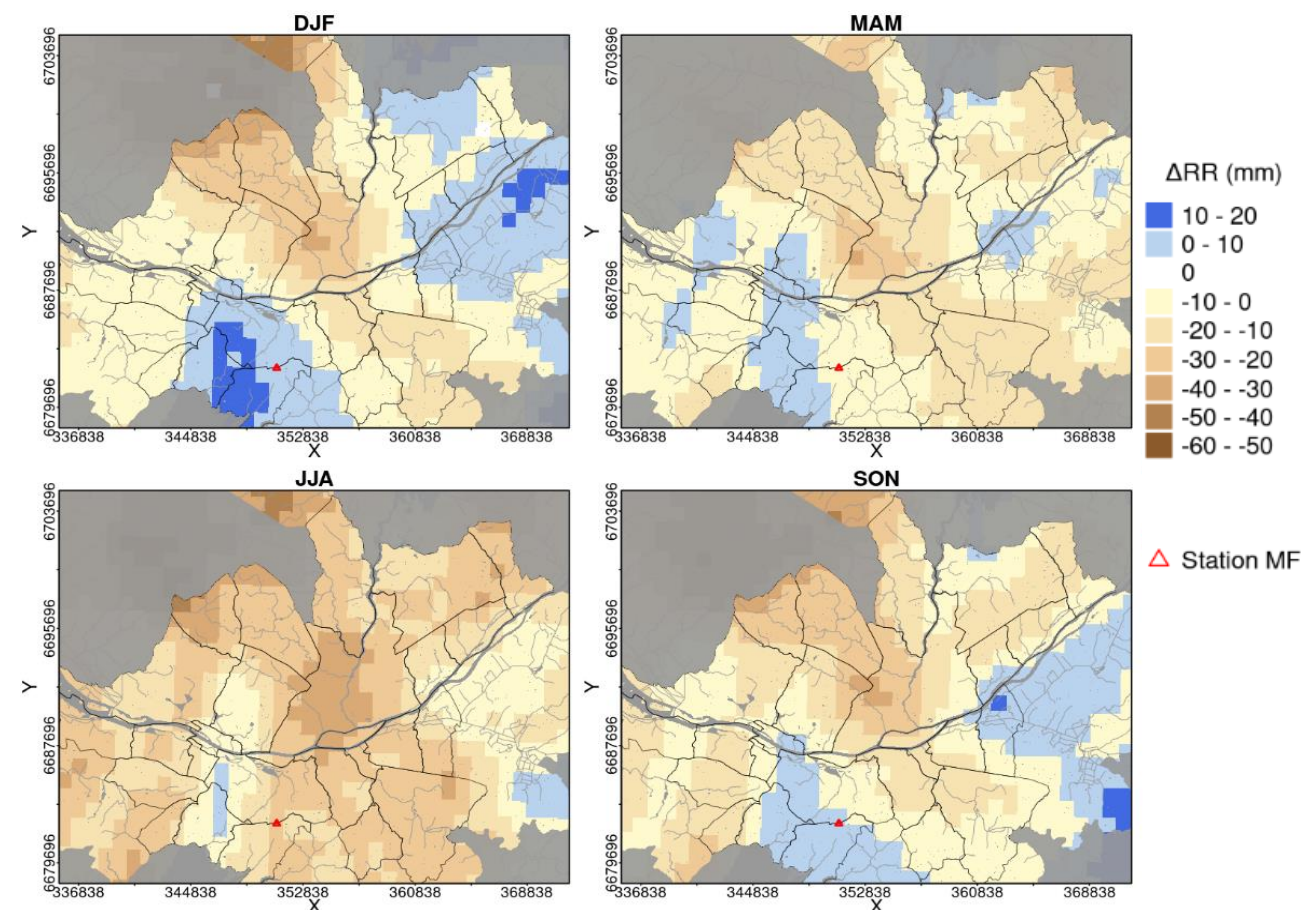
Temps futur (2036 – 2050)



Température au niveau de la station météo de référence

Cadre de modélisation : comparaison des précipitations

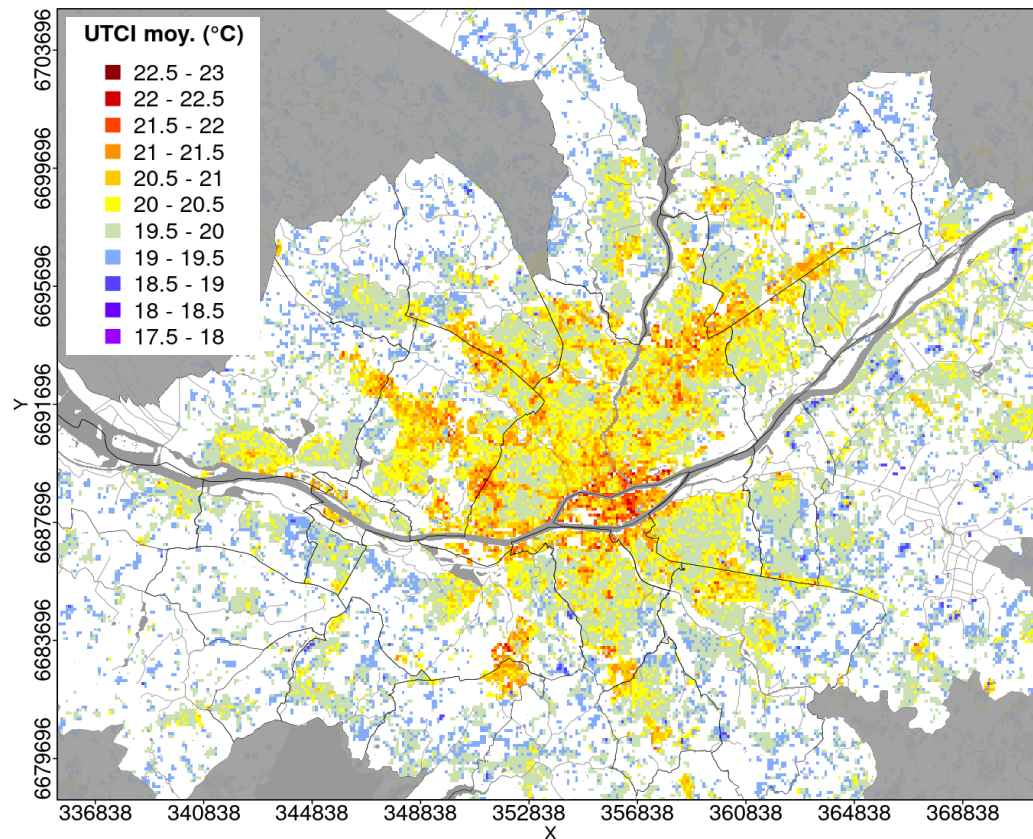
| | Temps présent (2008 – 2022) | Temps futur (2036 – 2050) |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Cumul annuel moyen | 843 mm | 829 mm |
| Ecart-type | 122 mm | 98 mm |
| Distribution spatiale | Spatialisée | Uniforme |



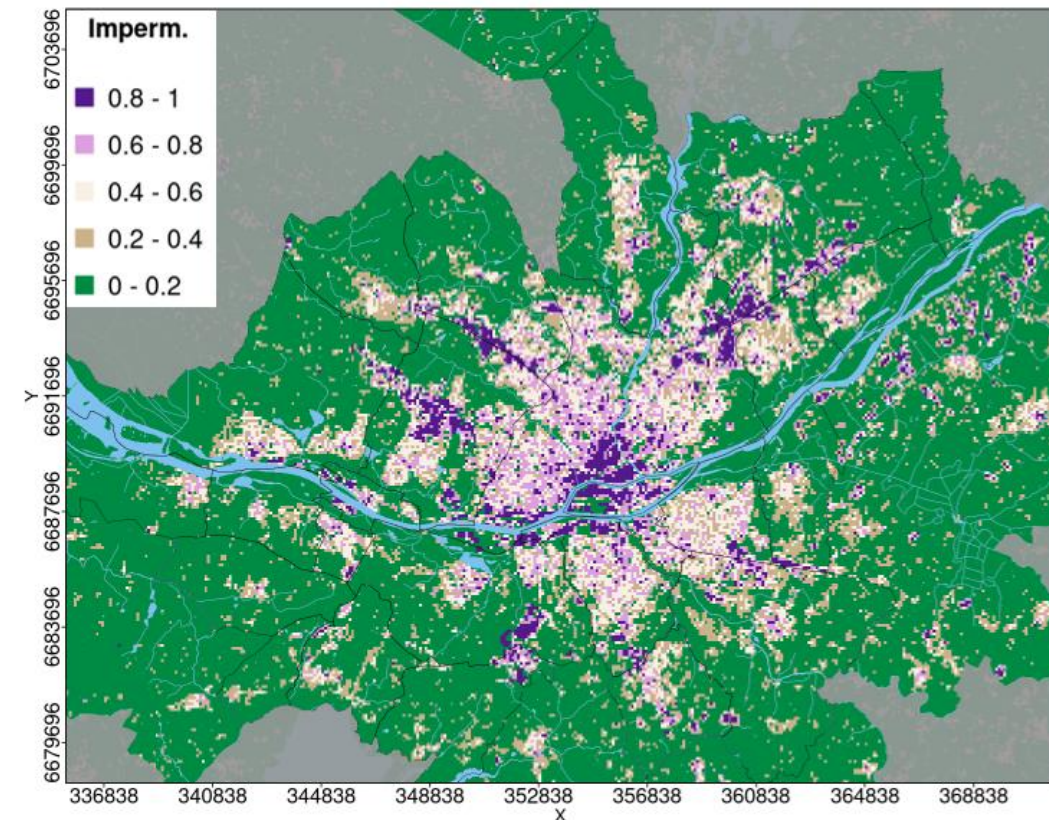
Ecart de précipitation saisonnière (mm)

$$\Delta RR = RR_{\text{futur}} - RR_{\text{présent}}$$

Température ressentie



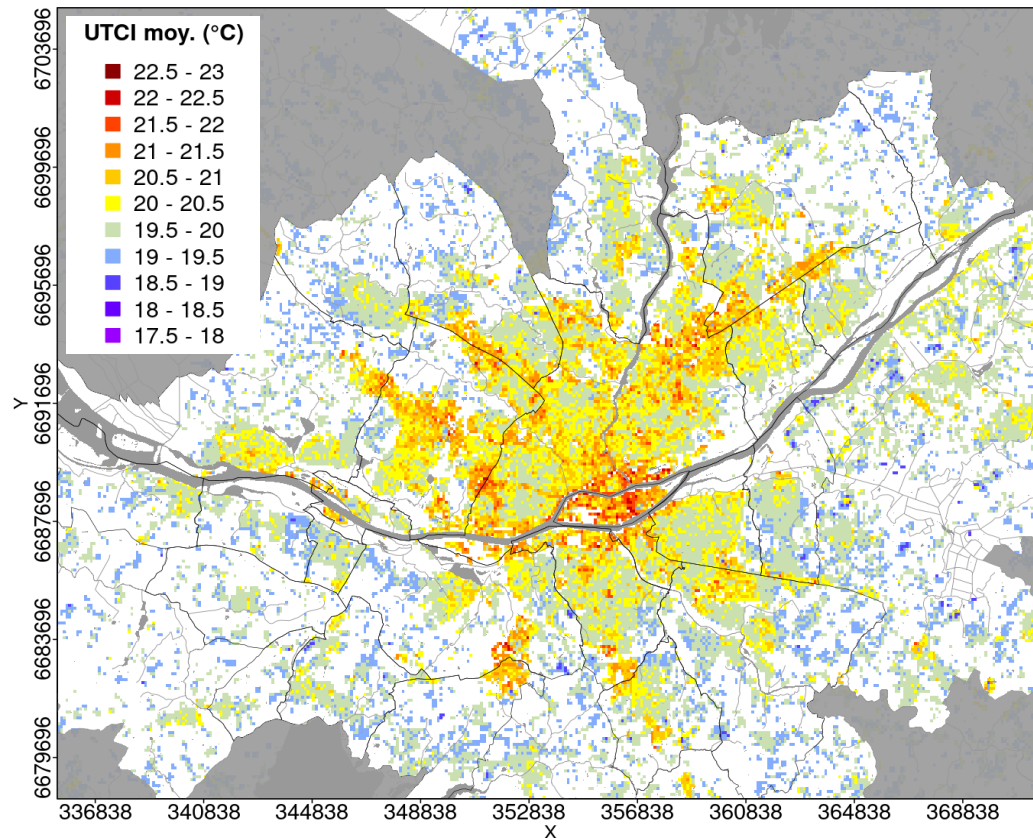
Température ressentie estivale sur la période
2008-2022



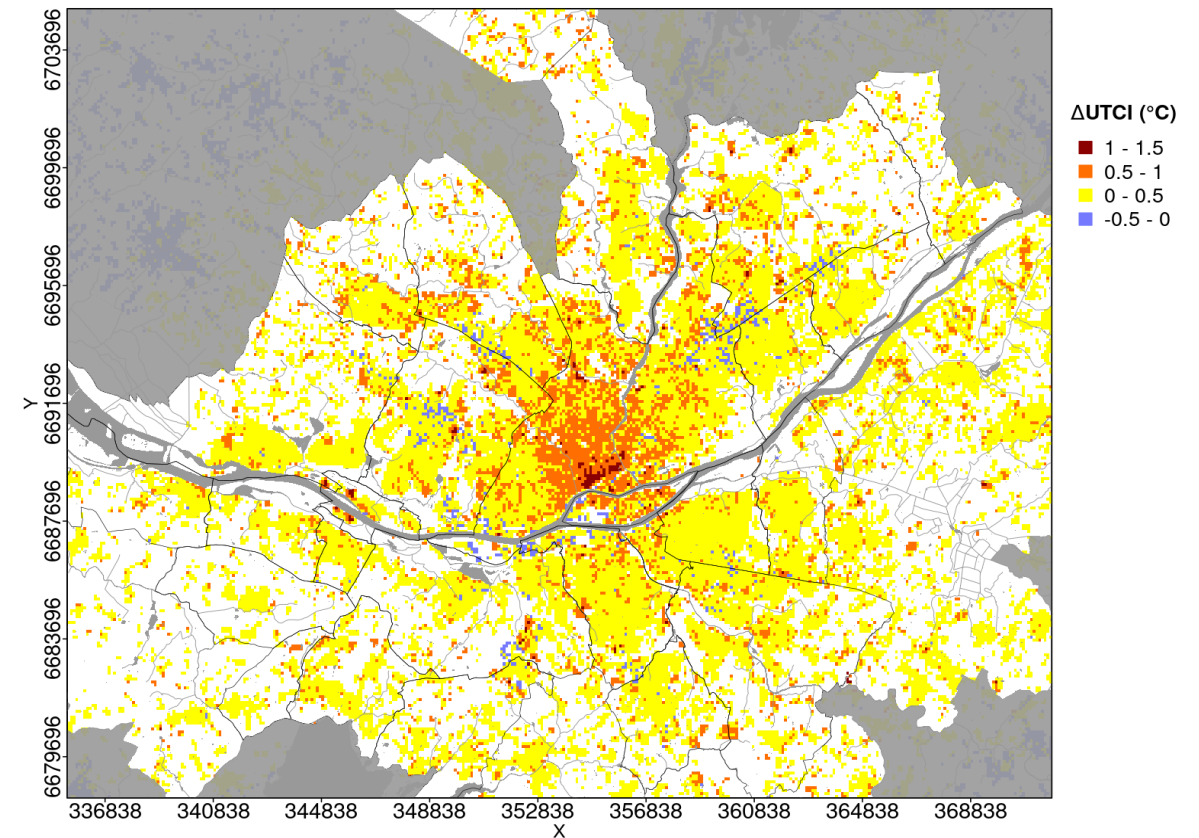
Fraction surfacique de sol imperméable

- Illustration de l'impact de l'imperméabilisation sur les températures ressenties

Température ressentie



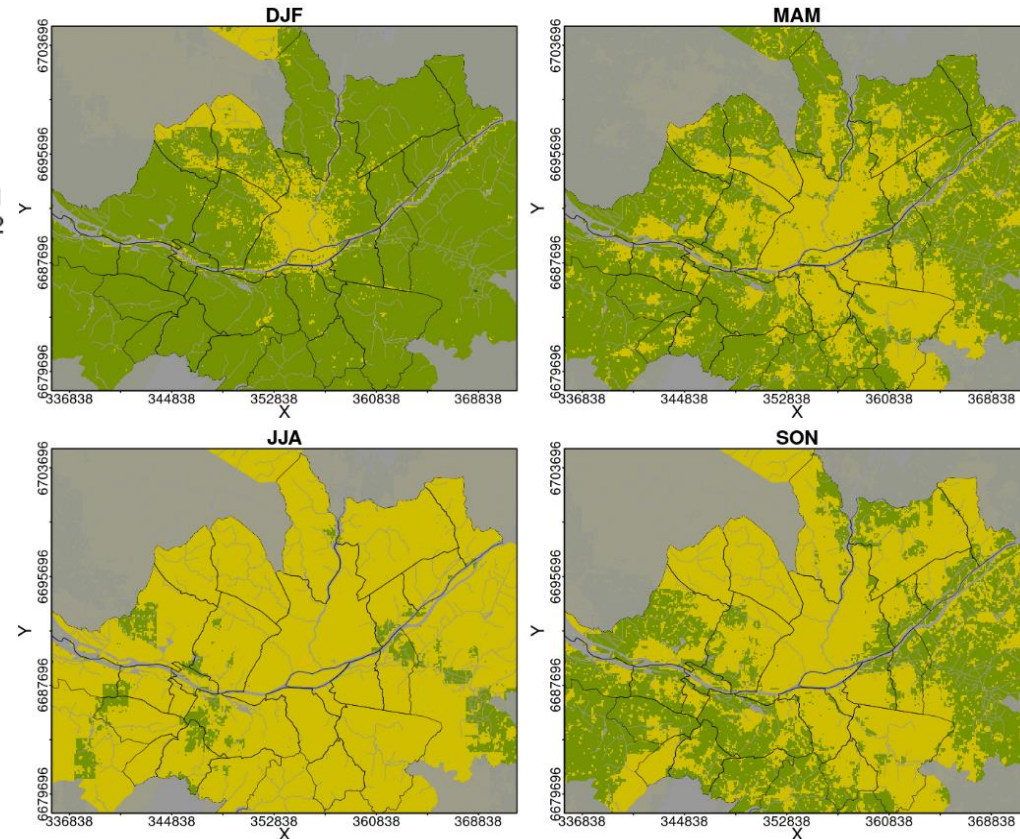
Température ressentie estivale sur la période
2008-2022



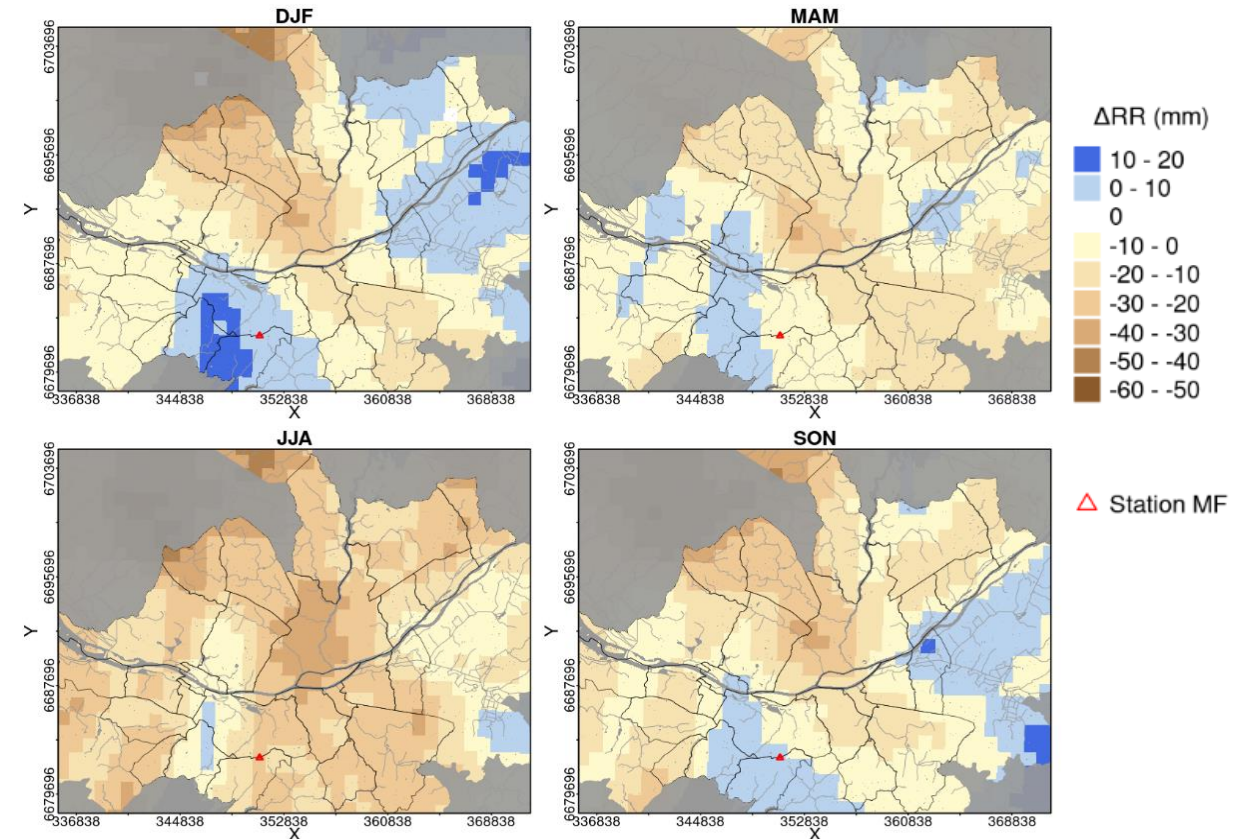
Ecart de température ressentie estivale
 $\text{UTCI}_{\text{futur}} - \text{UTCI}_{\text{présent}}$

→ En temps futur, hausse des températures ressenties sur l'ensemble de l'agglomération

Teneur en eau du sol



Ecart de l'indice de la teneur en eau du sol par saison (-). $\Delta SWI = SWI_{\text{futur}} - SWI_{\text{présent}}$



Ecart de précipitation saisonnière (mm)
 $\Delta RR = RR_{\text{futur}} - RR_{\text{présent}}$

→ Augmentation de la teneur en eau du sol en réponse à la baisse d'évapotranspiration

Conclusion

Obj : proposer et mettre en œuvre une approche de modélisation pour étudier l'impact hydro-climatique du changement climatique

1. Méthode d'intégration de données d'occupation à partir de BD nationales
2. Reconstruction du réseau d'assainissement (A. Mosset)
3. Différentes méthodes existantes pour produire des forçages spatialisés
4. Méthode de désagrégation temporelle (dynamique des pluies)

Faiblesse du modèle :

- Stress hydrique, peu représenté, écoulements trop lents
- Evapotranspiration, à approfondir

Perspectives

Réponses du territoire :

- Identification de l'impact du changement climatique sur les indicateurs microclimatiques (T, UTCI, IBM)
- Présence d'ICU précoce (printemps) et tardif (automne)
- Davantage de nuits tropicales (IBM) => stress nocturne (danger pour la santé)

Etude d'impact sur les bassins versants jaugés :

- Peu d'impact de l'uniformité des pluies
- Analyse plus poussée pour définir l'importance d'une spatialisation des précipitations sur ces bassins

Scénarios d'adaptation :

- Définir des scénarios d'adaptation réglementairement compatibles ou non et en intégrant des OGS.
- Thèse Cyril Kleczewski : démarrage rentrée 2025

Perspectives

Faiblesse du modèle :

- Stress hydrique, peu représenté, écoulements trop lents
- Evapotranspiration, à approfondir

Etude d'impact sur les bassins versants jaugés :

- Peu d'impact de l'uniformité des pluies
- Analyse plus poussée pour définir l'importance d'une spatialisation des précipitations sur ces bassins

Scénarios d'adaptation :

- Définir des scénarios d'adaptation réglementairement compatibles ou non et en intégrant des OGS.
- Thèse Cyril Kleczewski : démarrage rentrée 2025

Merci de votre attention

Ce travail a été financé en partie par la région Pays de la Loire

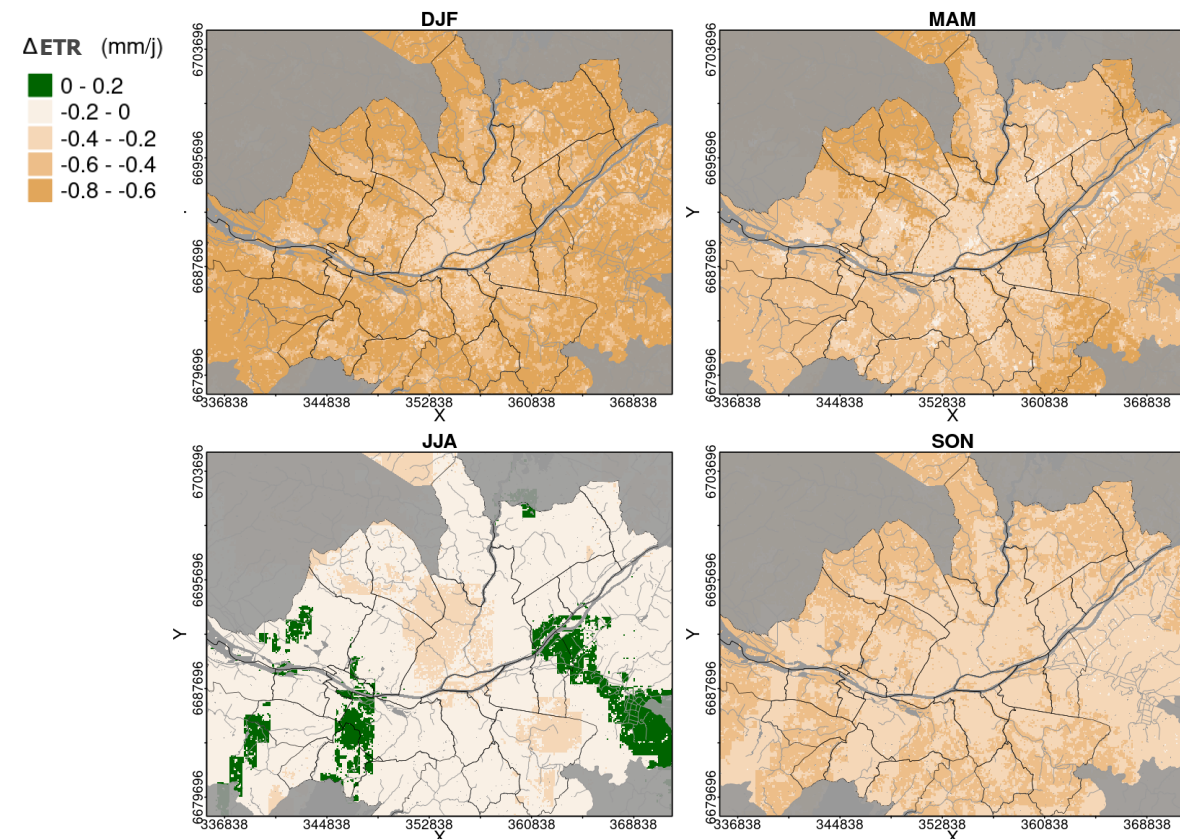


Florian BETOU

Florian.betou@univ-eiffel.fr

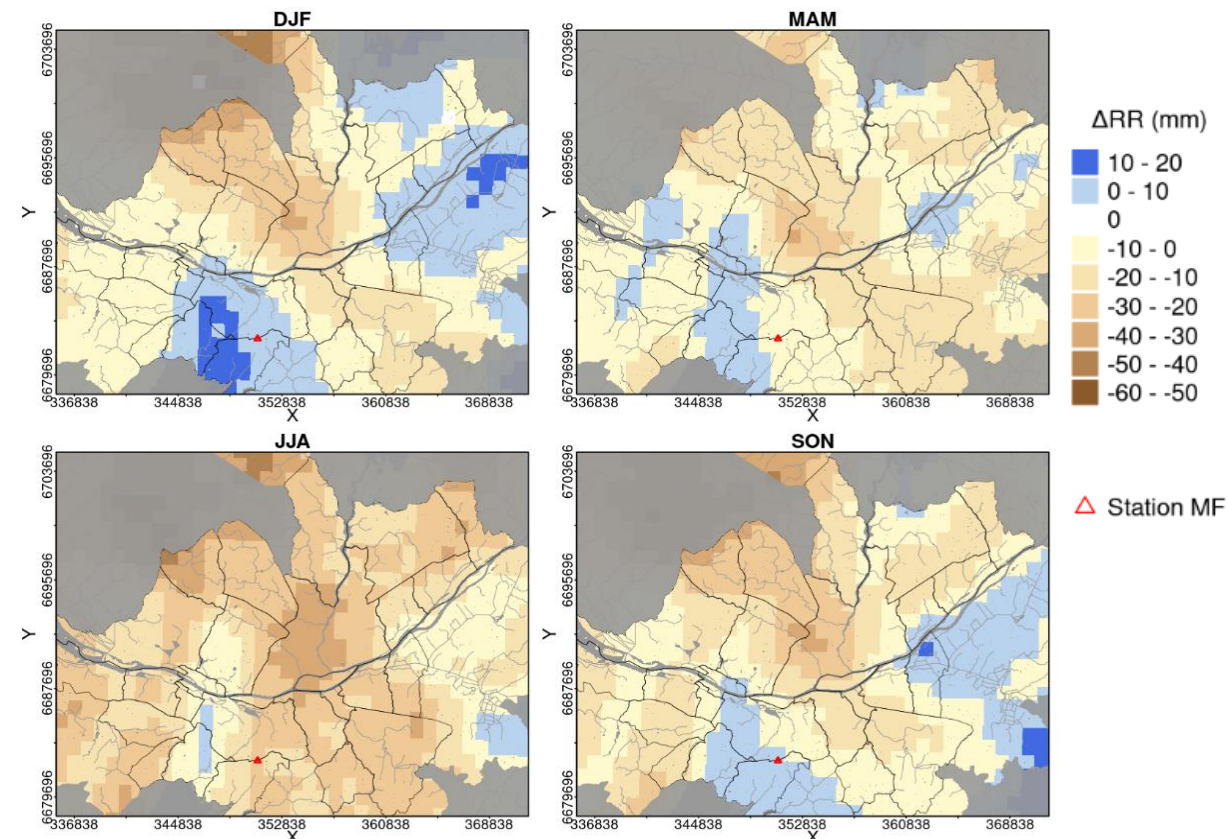


Evapotranspiration



Ecart du cumul évapotranspiré par saison (mm/j).

$$\Delta ETR = ETR_{\text{futur}} - ETR_{\text{présent}}$$

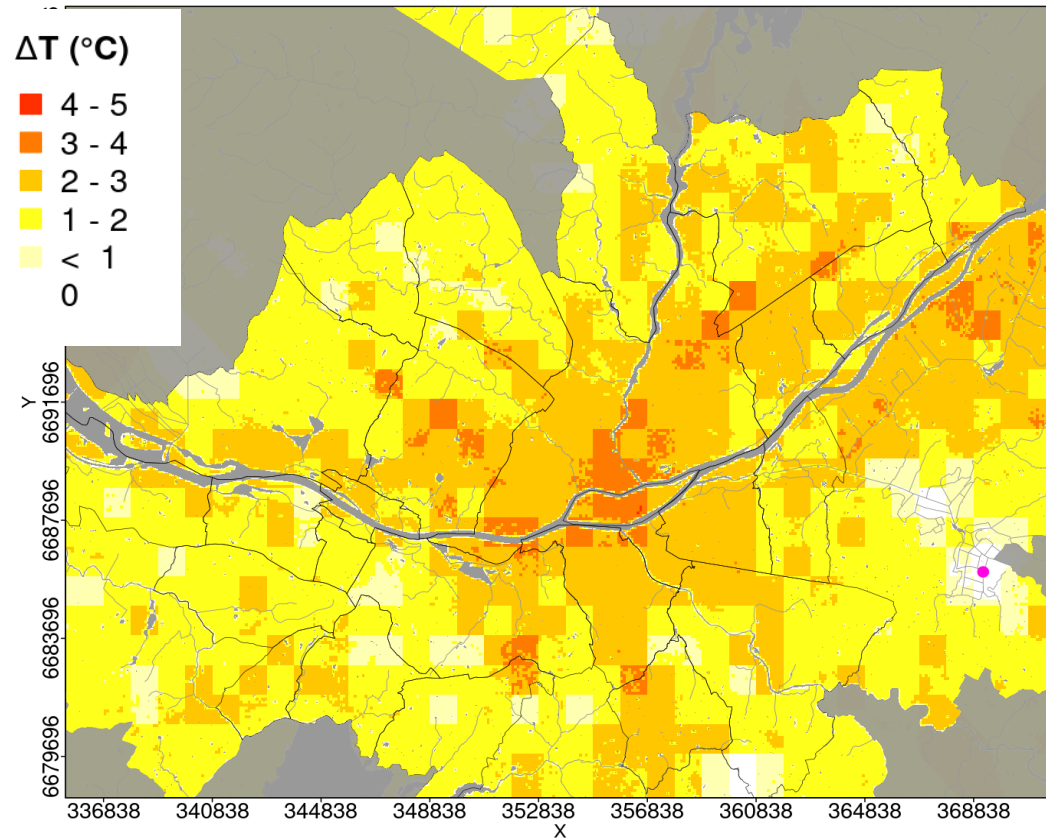


Ecart de précipitation saisonnière (mm)

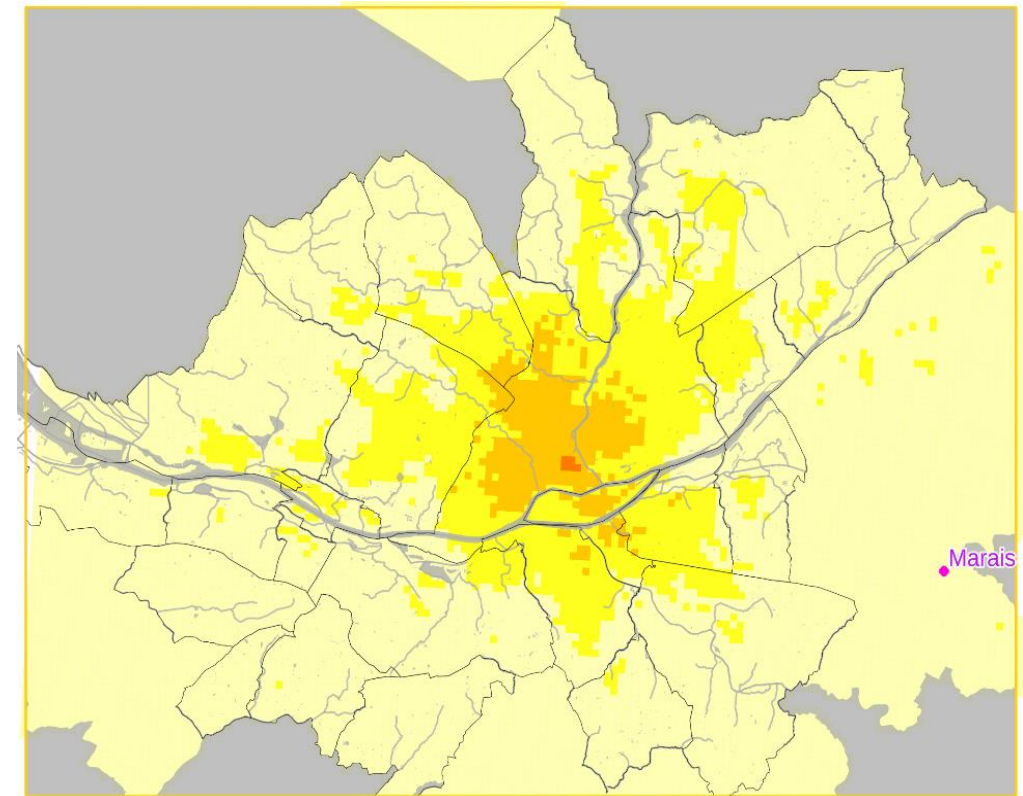
$$\Delta RR = RR_{\text{futur}} - RR_{\text{présent}}$$

- Diminution de l'évapotranspiration en temps futur : résultat inattendu
- Influence des précipitations de forçages sur l'évapotranspiration : importance d'une spatialisation des précipitations pour comparer les résultats

Différence de température de l'air

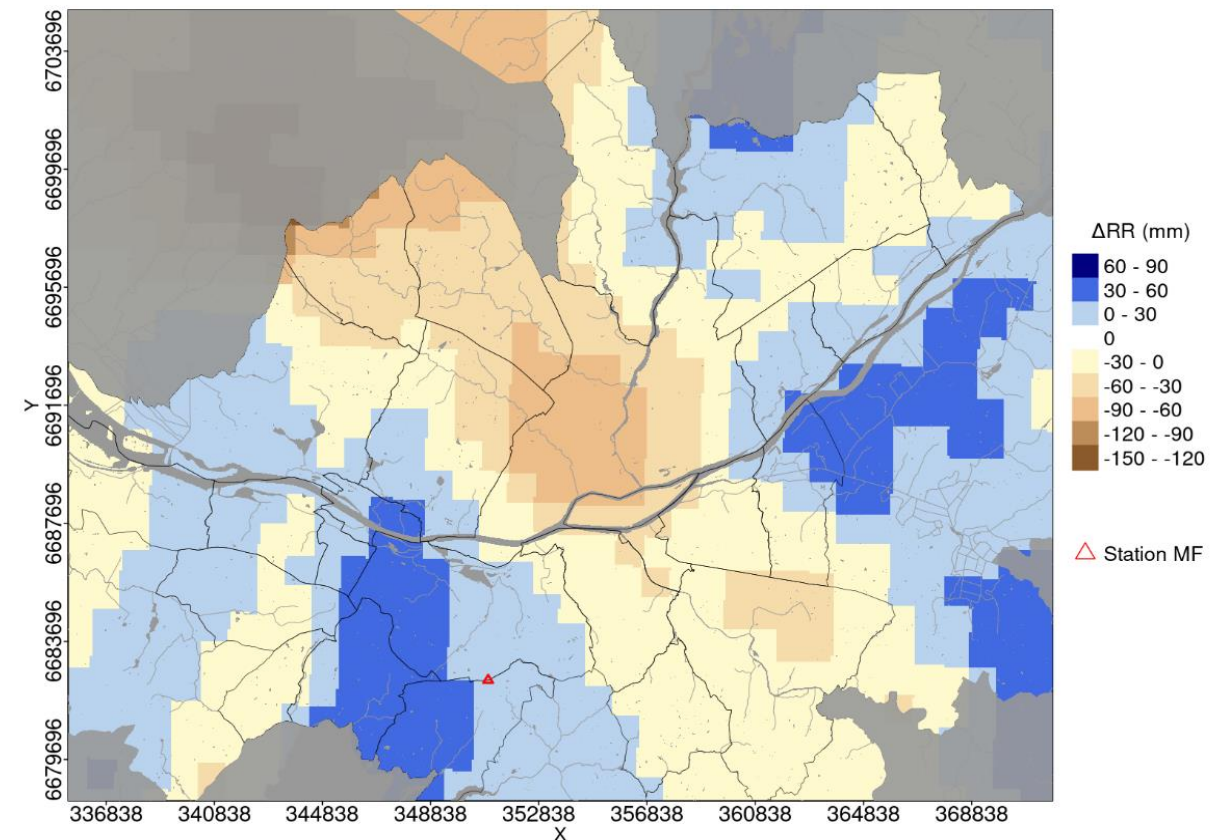
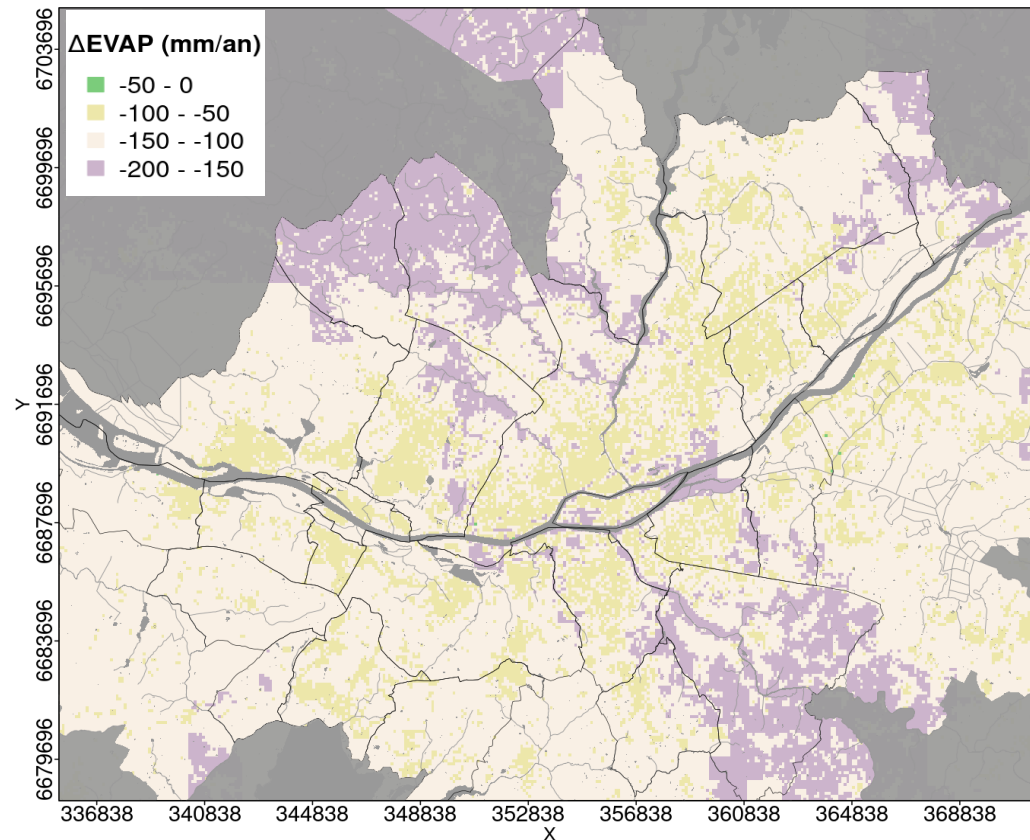


Différence de température nocturne estivale, par rapport à la maille de référence (rose), calculée sur la période 2008-2022

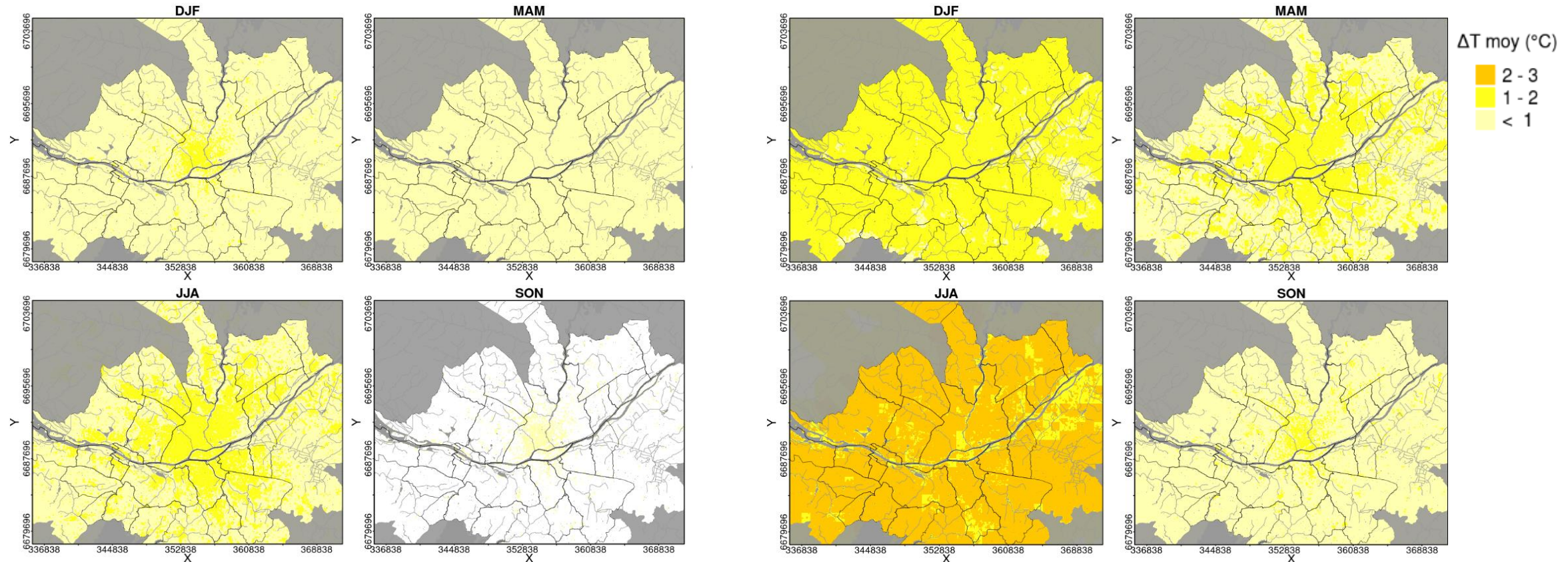


Ilot de chaleur urbaine estival pour un vent faible du sud, issu du projet MAPUCE

Evapotranspiration



Température de l'air



Ecart de température saisonnière diurne

Ecart de température saisonnière nocturne

- Des T plus élevées en temps futur

Indicateurs

- Température ressentie, UTCI (Universal Thermal Climate Index, Fiala et al., 2012)
- Indice bio-météorologiques IBM, et dépassement de seuil $I_n = 20^\circ\text{C}$ et $I_x = 34^\circ\text{C}$ en Loire-Atlantique
 - IBM_n, moyenne sur trois jours des températures minimales journalières
 - IBM_x, moyenne sur trois jours des températures

- Evapotranspiration

- La teneur en eau du sol (Soil Wetness Index, SWI)

$$SWI(t) = \frac{W(t) - W_{wilt}}{W_{fc} - W_{wilt}}$$

