



# Modélisation microclimatique pour la thermique des quartiers : avancées et enjeux

Marjorie Musy, Directrice de Recherche, Cerema Ouest (Nantes)

# 1 - Contexte

## Opérationnel

Des approches à l'échelle du bâtiment aux approches quartier

Une prise de conscience de la surchauffe urbaine

Des interrogations sur la pratique de conception des bâtiments urbains avec des fichiers météo à l'aéroport

Des interrogations sur l'impact des aménagements urbains sur le confort dans les bâtiments et leurs besoins énergétiques

# 1 - Contexte

## Scientifique

Les climatologues descendent d'échelle -> ville -> quartier... avec un besoin de prendre en compte les bâtiments et leurs effets sur le climat urbain

Des modèles de thermique du bâtiment qui représentent de mieux en mieux les flux au sein du bâtiment mais restent grossiers sur les phénomènes à l'extérieur

## 2 - Modéliser le climat du quartier pour améliorer l'évaluation du comportement thermique du bâtiment – pourquoi ?

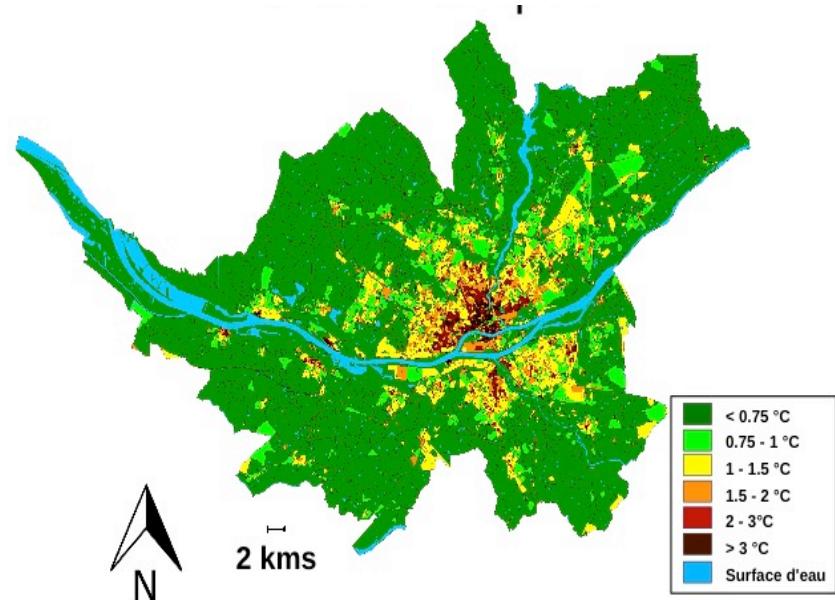
Des phénomènes locaux qui modifient fortement les flux

- Radiatifs
  - ombrages
  - réflexions CLO
  - Échanges GLO avec le ciel et les surfaces visibles
- Convectifs
  - Températures locales différentes ← ICU
  - Vitesses de vent modifiées
- Latents

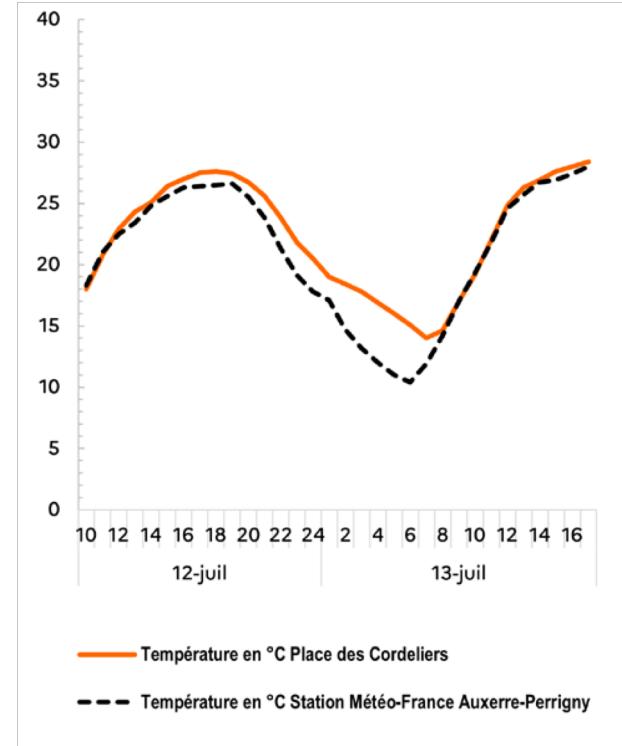
Des bâtiments qui influencent leur environnement proche

# L'îlot de chaleur urbain (ICU)

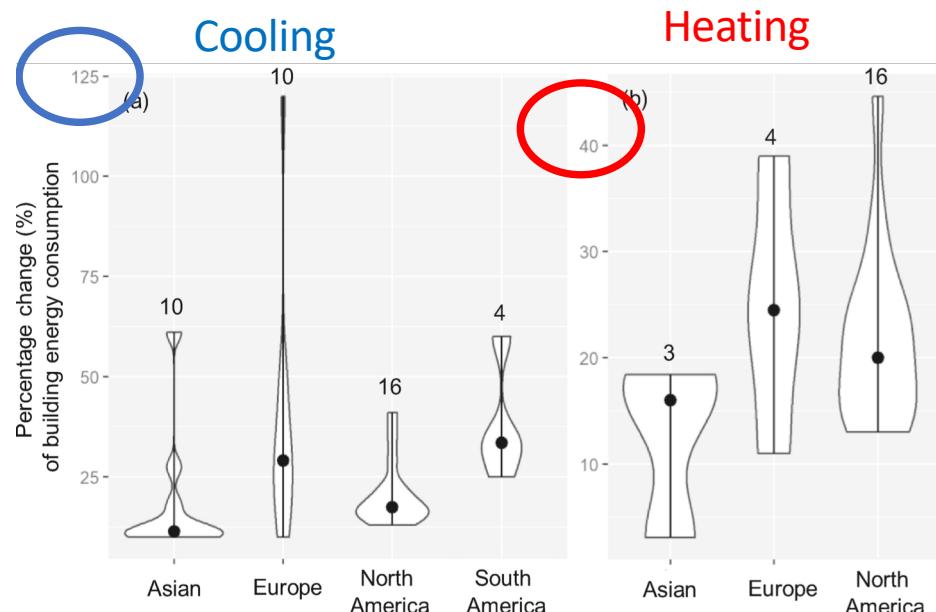
Des écarts de plusieurs degrés la nuit entre zones rurales et urbaines minérales et denses.



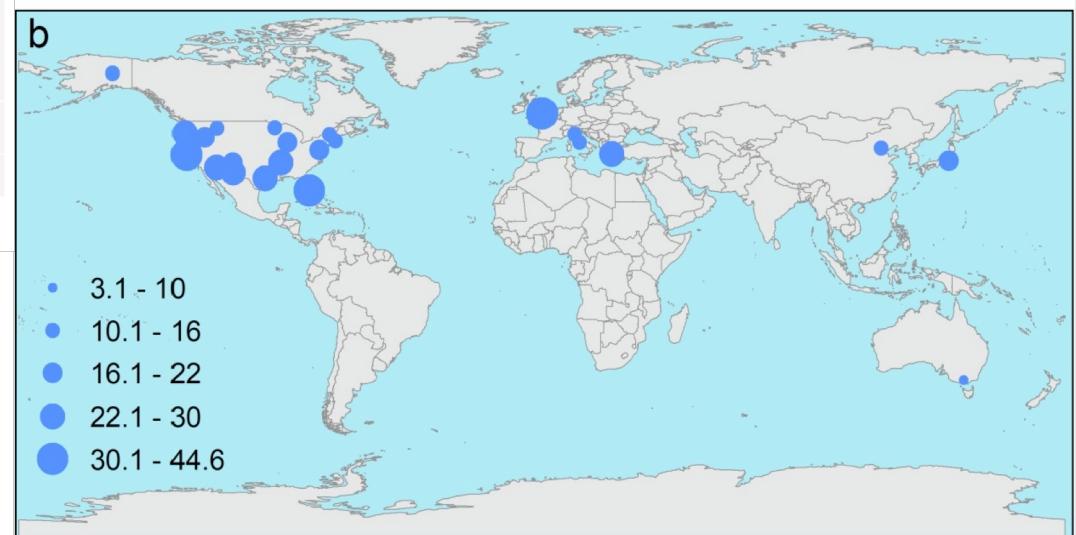
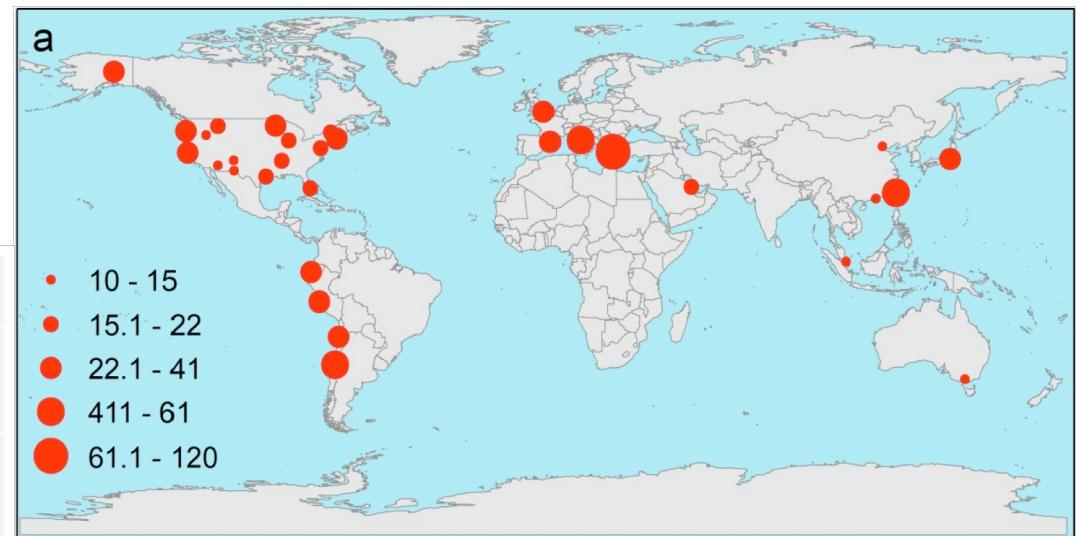
Estimation de l'intensité de l'ICU à Nantes par ciel clair  
J. Bernard. 2017



Ecart de température  
urbaine/rurale à Auxerre,  
Source : TRIBU, 2020



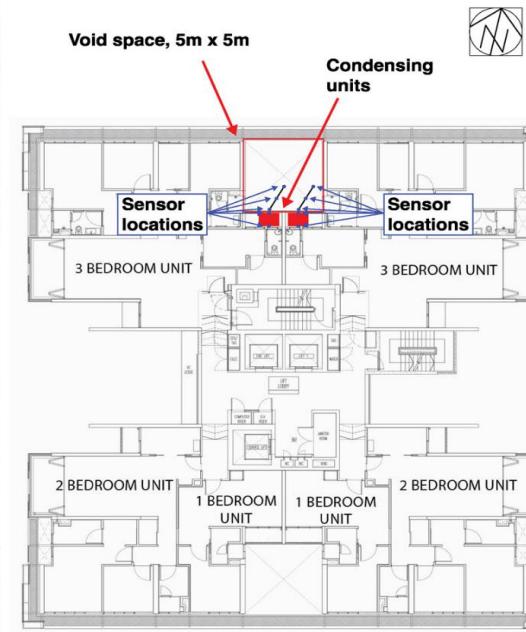
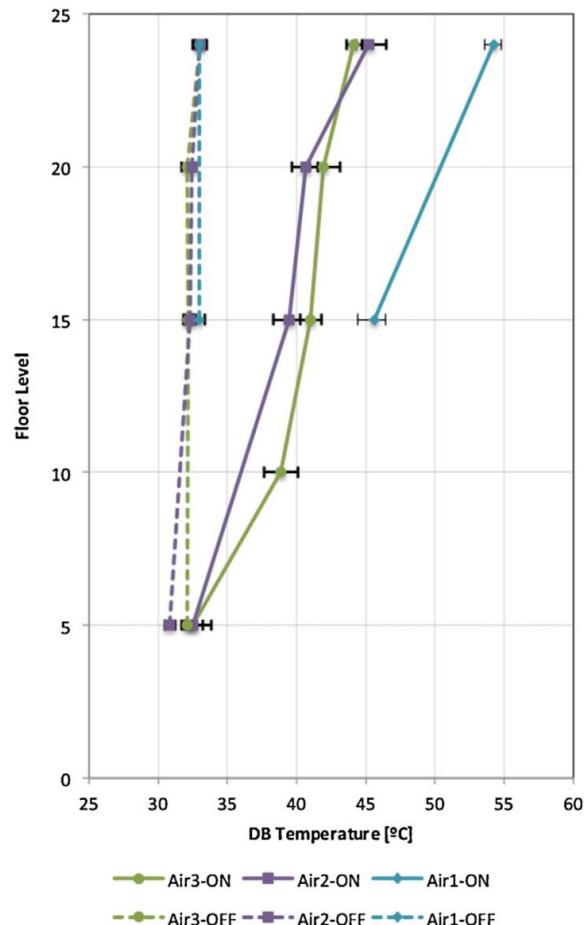
Percentage increase in building cooling energy consumption (a) and percentage decrease in building heating energy consumption (b) caused by UHI at the regional level



Li et al. (2019)  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183>

Percentage increase in building cooling energy consumption (a) and percentage decrease in building heating energy consumption (b) by UHI.

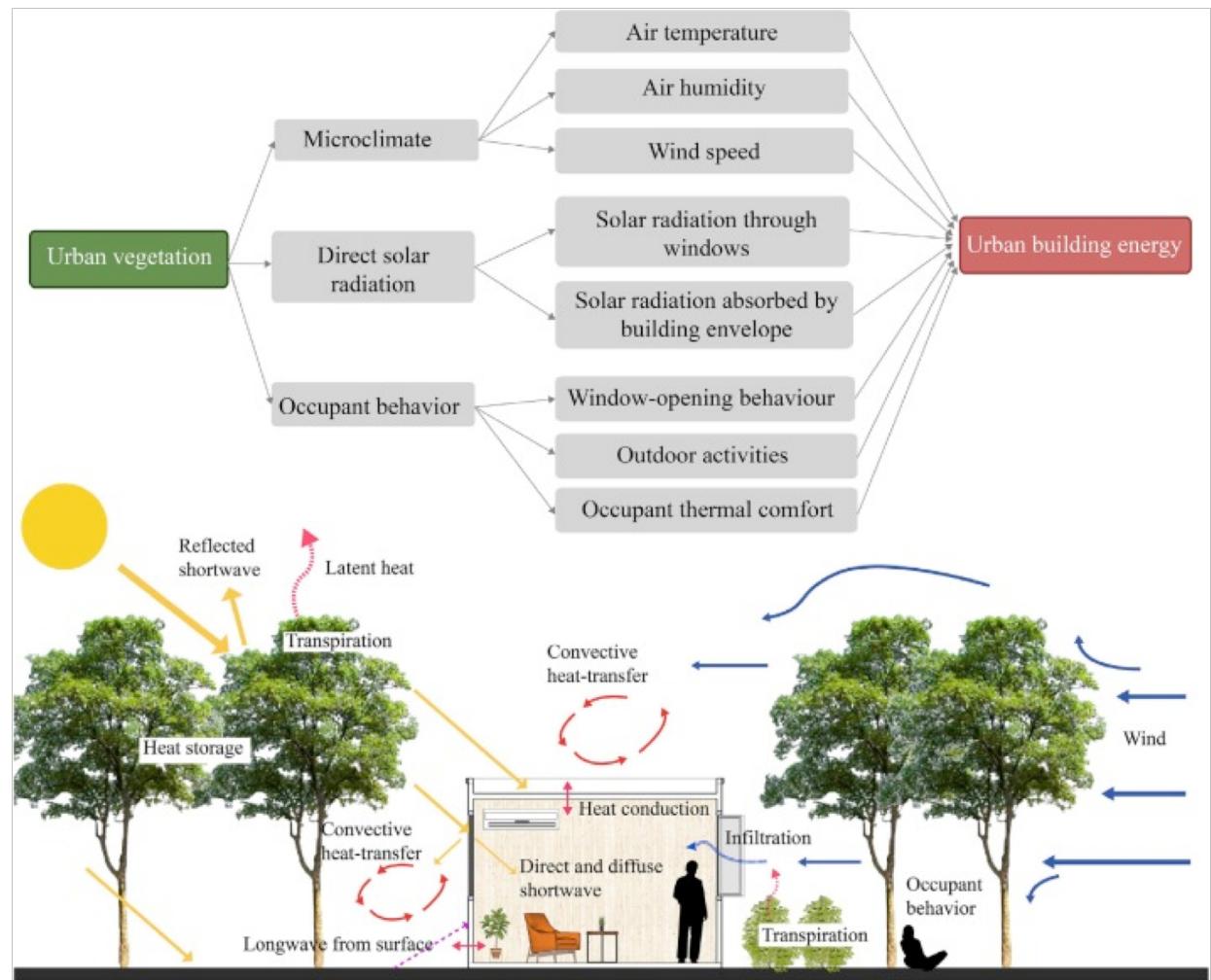
# Des effets plus locaux



Brue lisauer et al. (2014) <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.056>

# Evaluer l'impact de solutions de rafraîchissement

- Forme urbaine
- Végétation
- Matériaux
- Surfaces d'eau
- ...

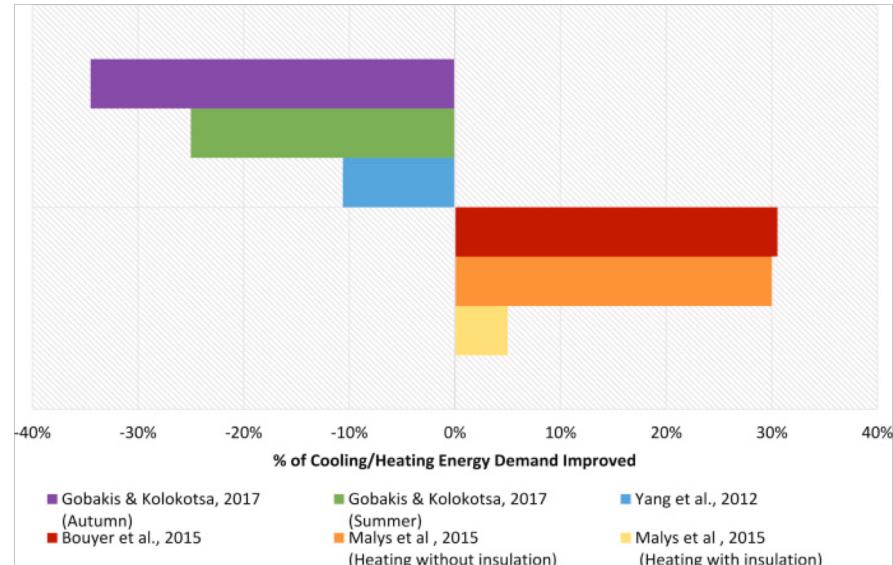


Zhu et al. 2022 - <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104576>

# Impact de la prise en compte du microclimat très variable

## Fonction

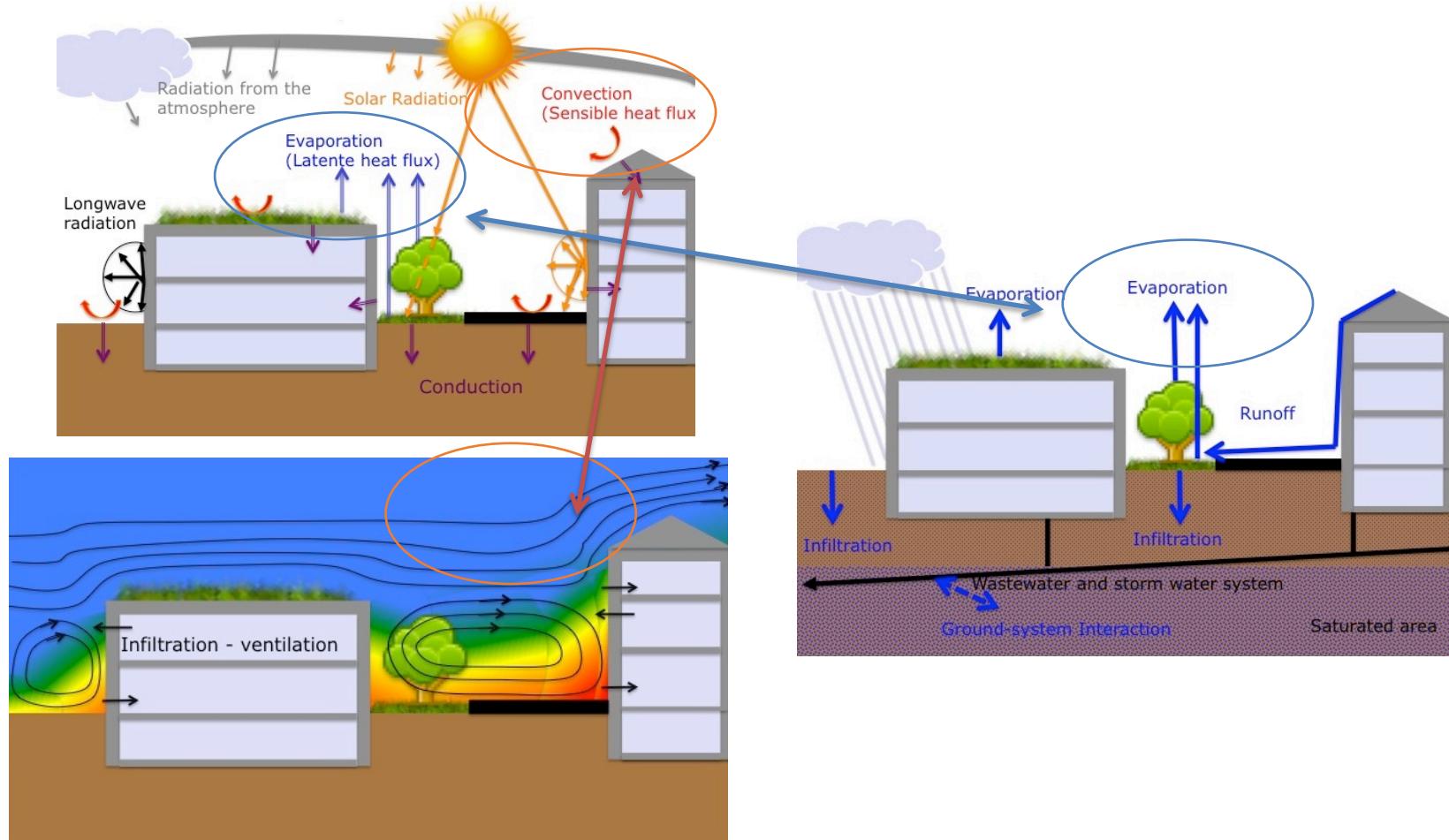
- Du contexte climatique
- Du contexte urbain (forme urbaine, aménagement...)
- Du type de bâtiment
- De l'usage du bâtiment



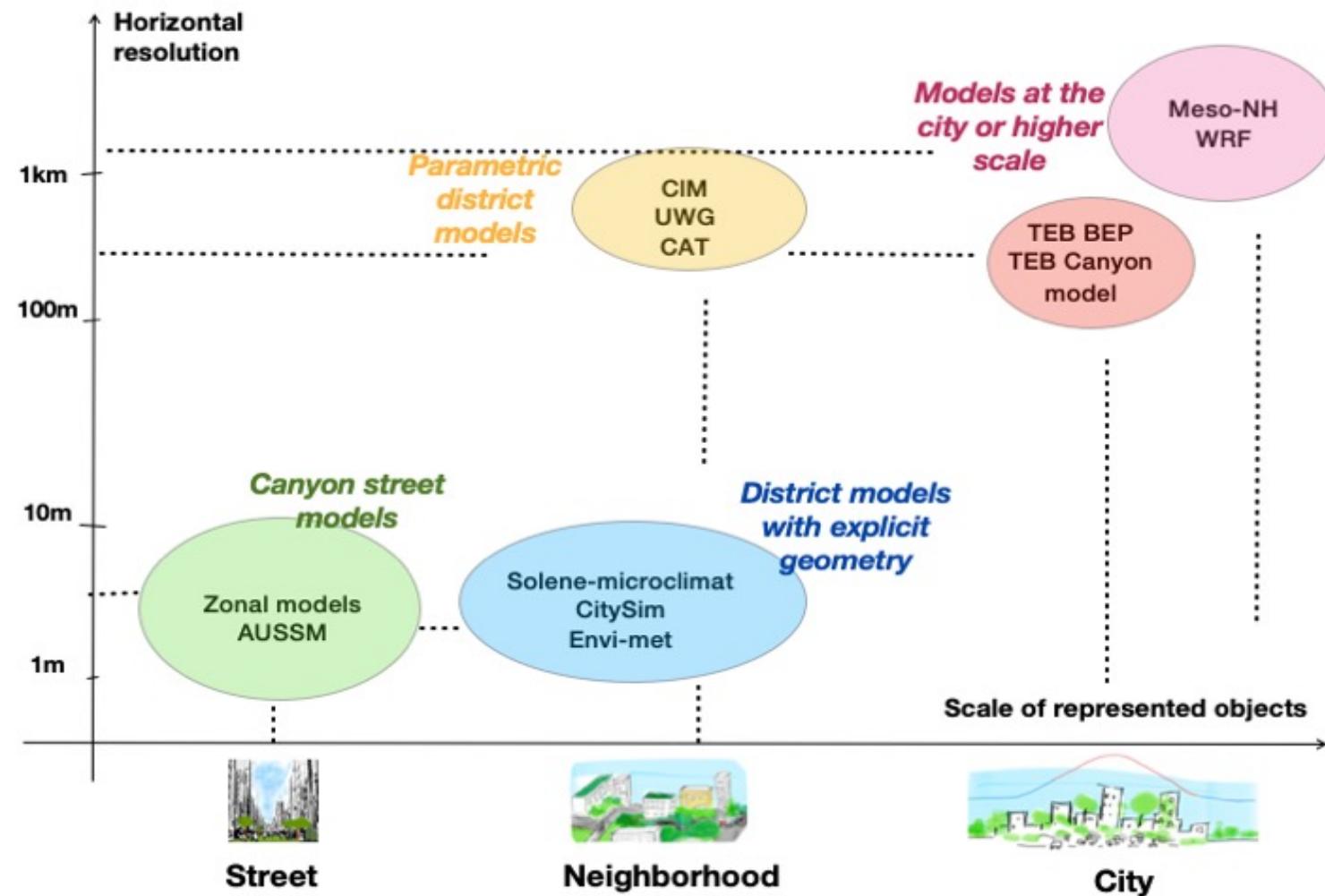
Différence dans les besoins énergétiques avec prise en compte du microclimat urbain

Sezer et al. 2023 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113577>

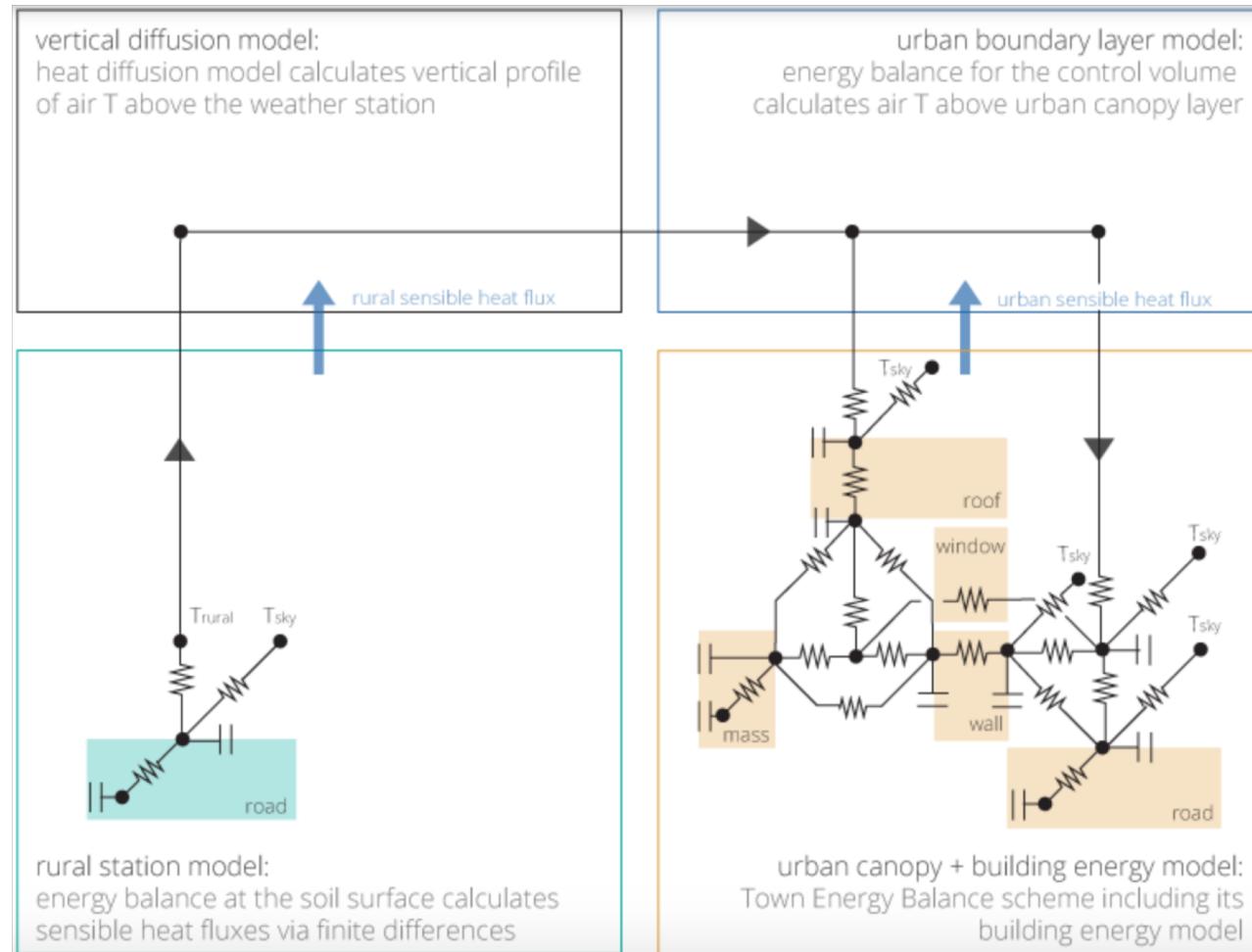
### 3 - Modéliser le climat du quartier pour améliorer l'évaluation du comportement thermique du bâtiment – Comment ?



# Les modèles microclimatiques

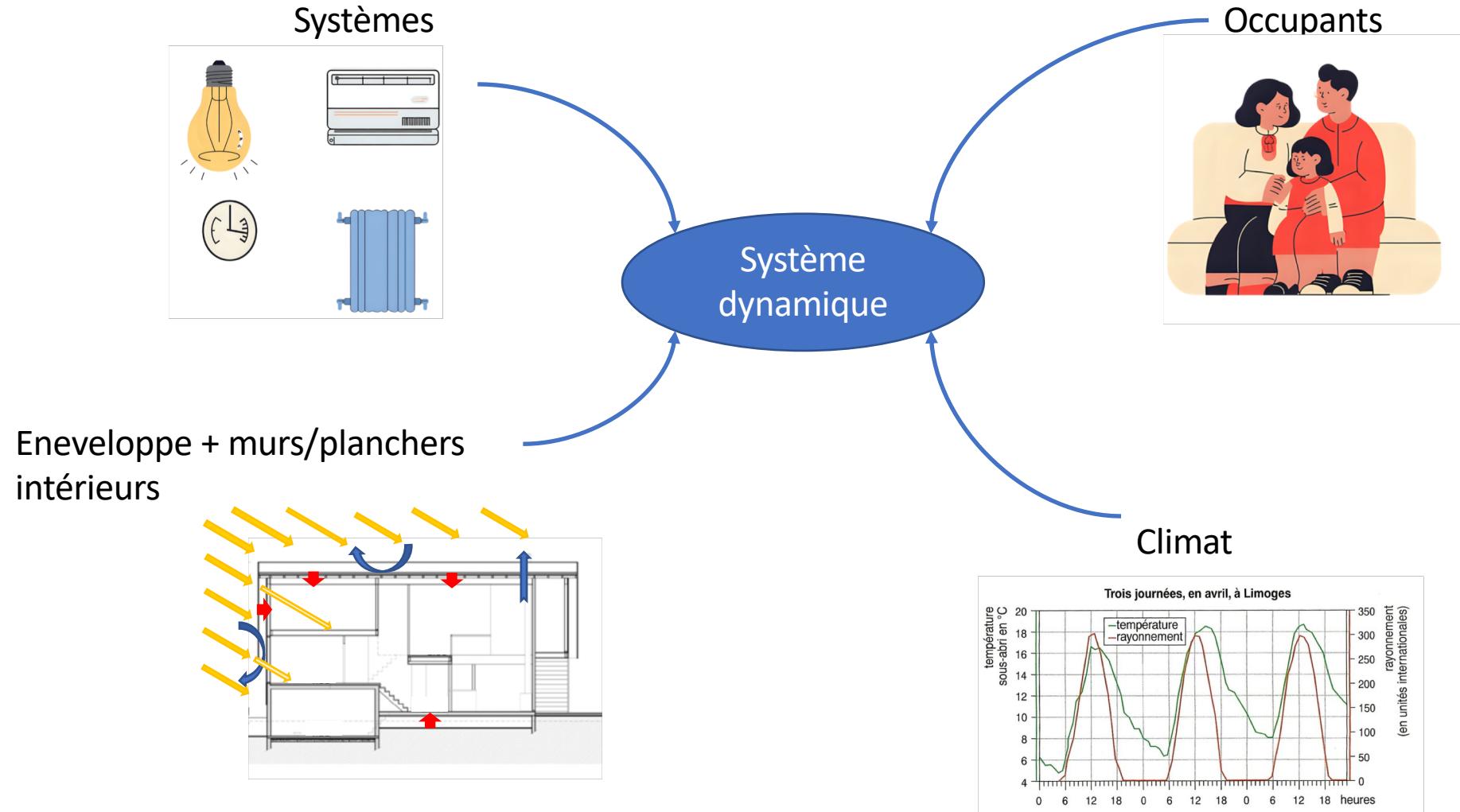


# Zoom sur UWG



<https://urbanmicroclimate.scripts.mit.edu/uwg.php>

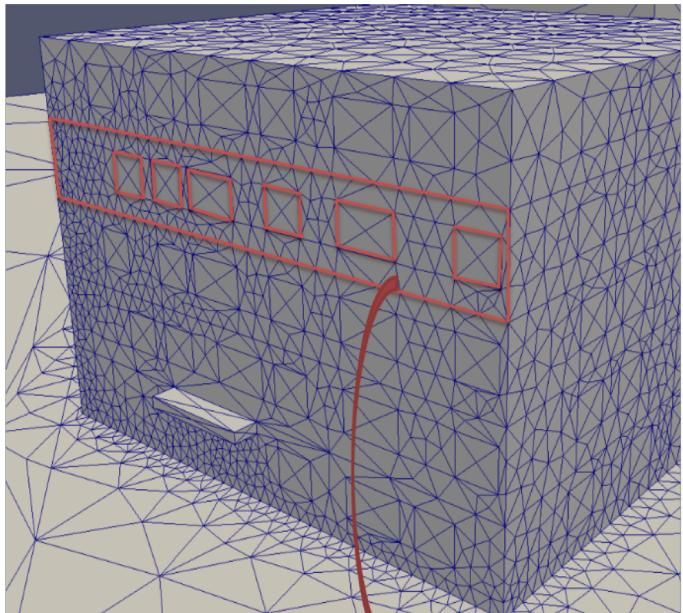
# Les modèles de thermique du bâtiment



## Et l'interface ?

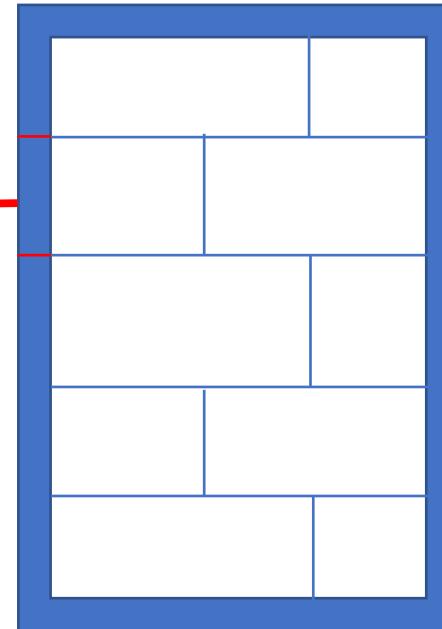
Distribution de température, humidité et Vitesse d'air autour de l'enveloppe

Un fichier météo pour tout le bâtiment

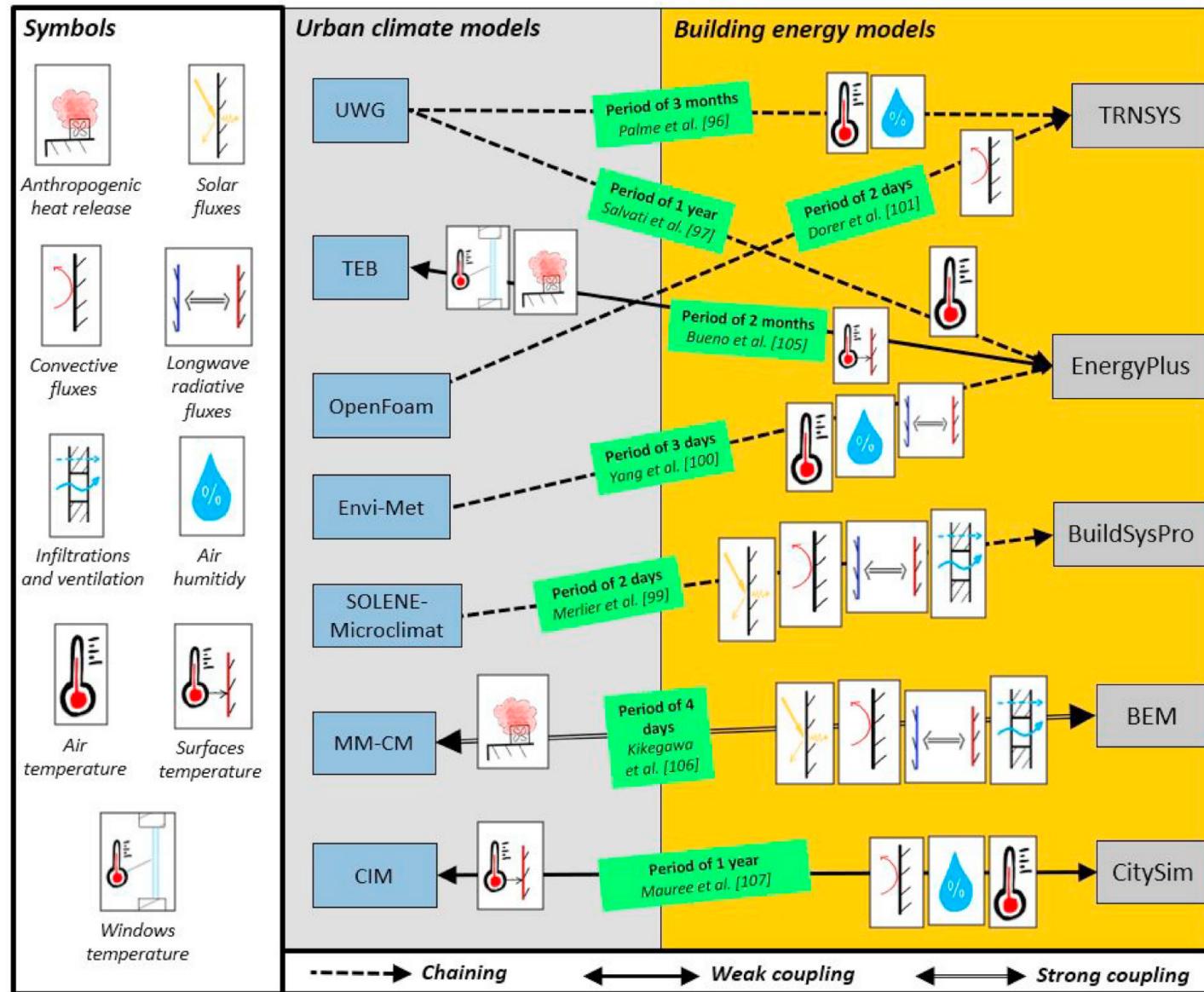


Mailles d'une façade sur lesquelles on a un bilan de flux et des températures de surface

Façades sur lesquelles on a un bilan de flux

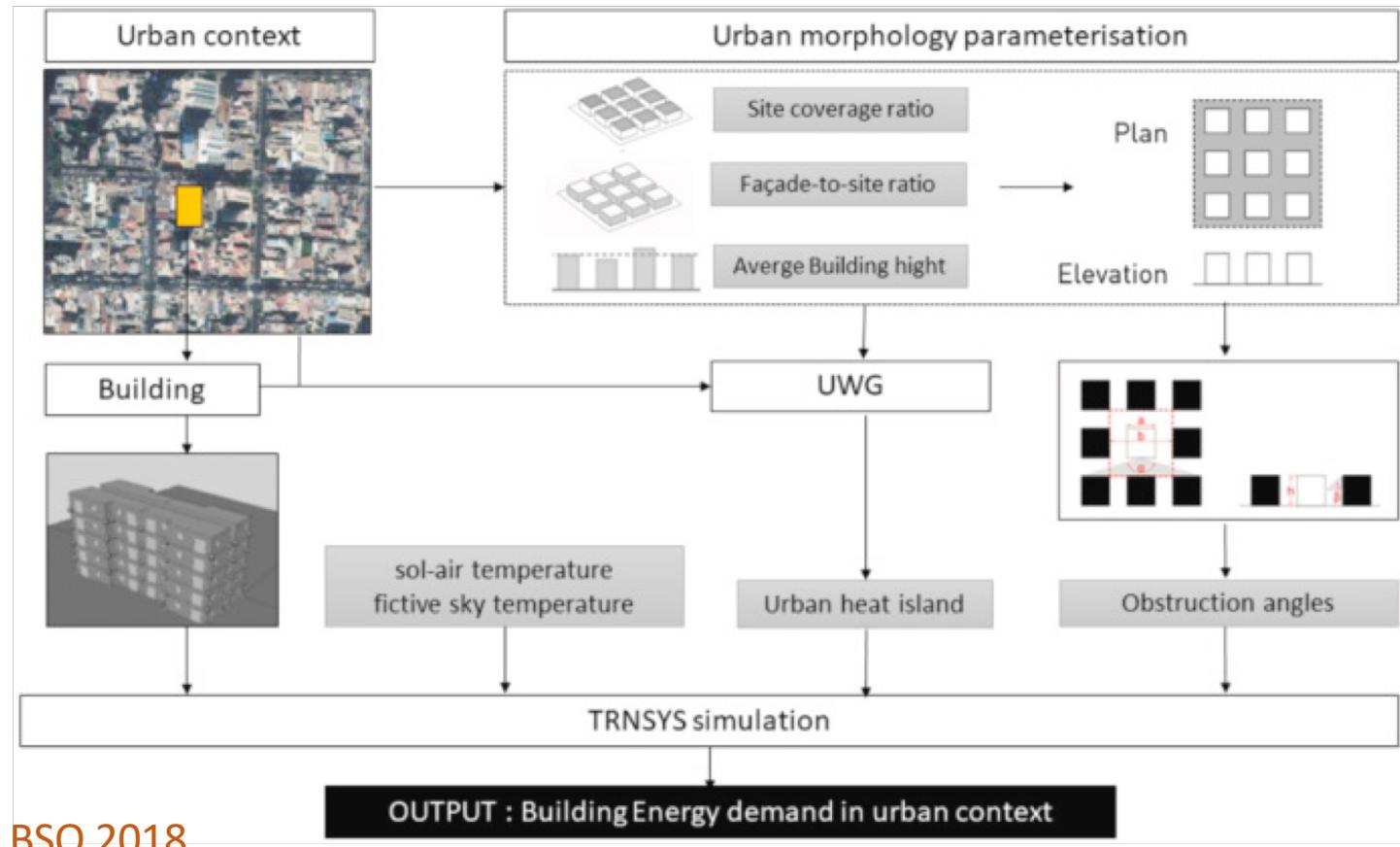


# Exemples de chainages et couplages UCM-BEM



Lauzet et al. 2019 - <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109390>

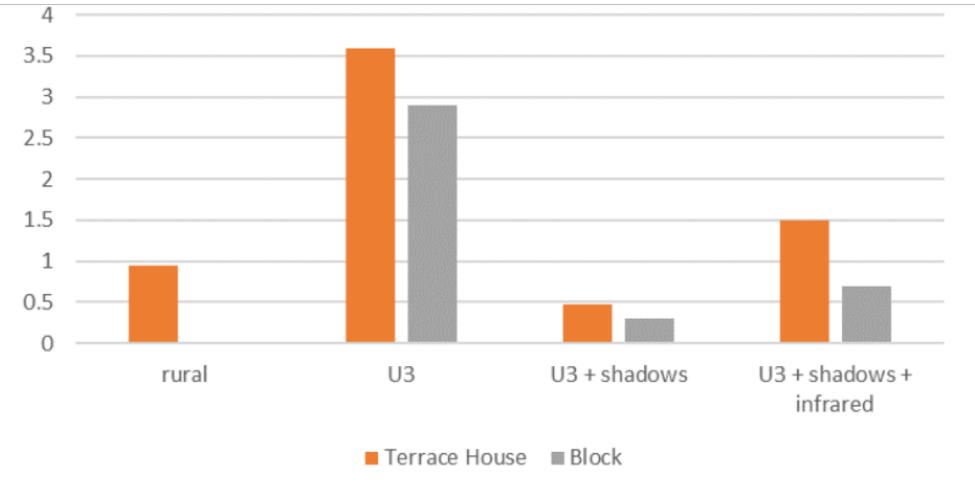
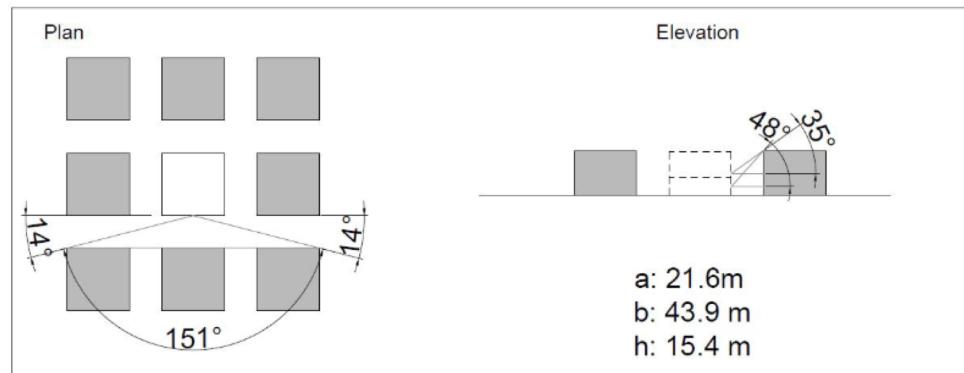
# Exemple d'un chainage UWG -> TRNSYS



Palme et Salvati, BSO 2018

# Exemple d'un chainage UWG -> TRNSYS

Besoins rafraîchissement d'un bâtiment  
(Antofagasta, Chili) kWh/m<sup>2</sup>



Palme et Salvati, BSO 2018

Rural = fichier climatique rural  
U3 = fichier climatique UWG

# Exemple d'un chainage UWG -> TRNSYS

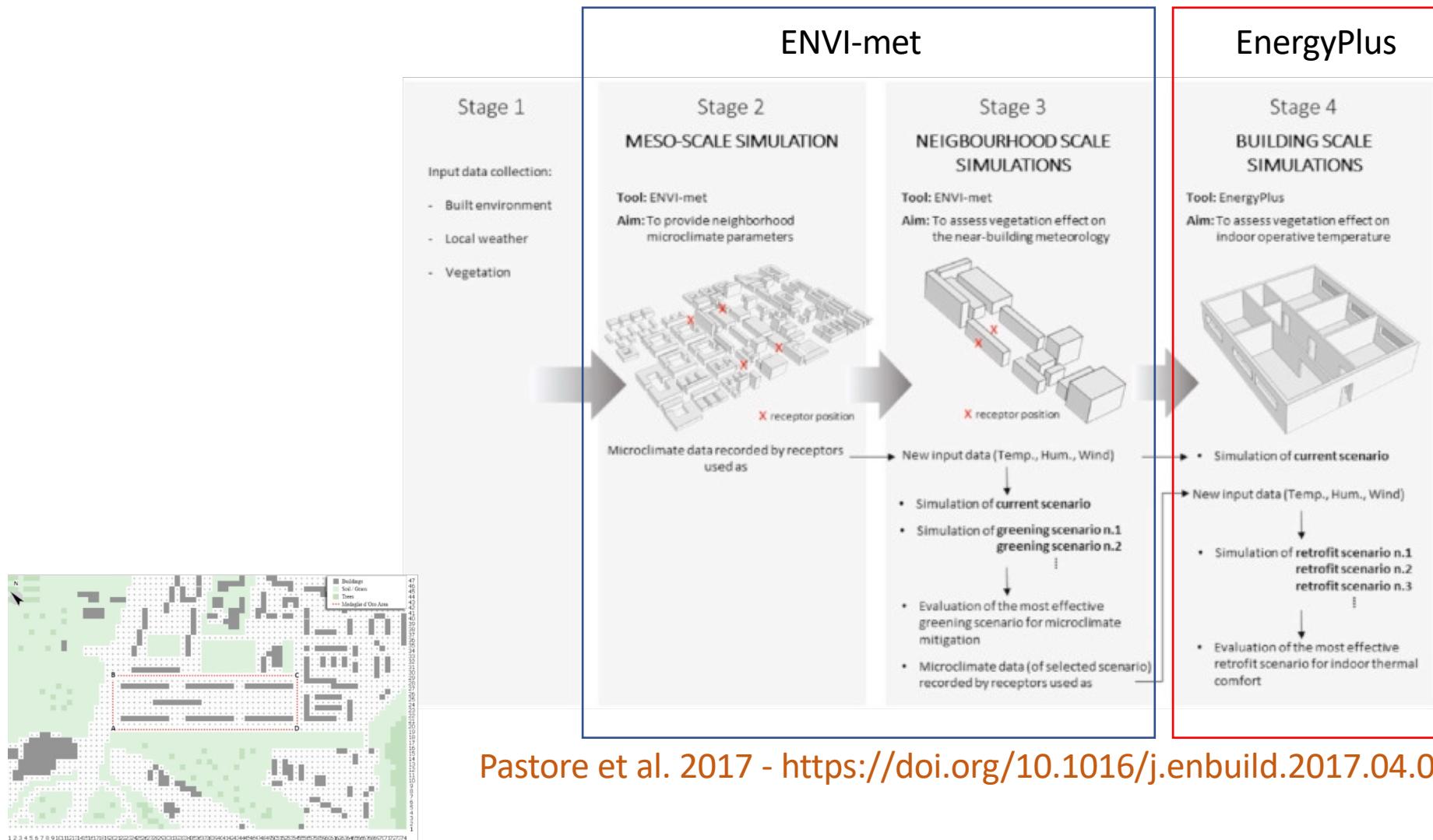
## Les avantages

- Calculs UWG très rapides, possibilité de faire une année entière
- Prise en compte de l'îlot de chaleur urbain à partir de données facilement acquises sur le quartier

## Les limites

- UWG ne prend pas tous les phénomènes en compte. Approche très simplifiée
- Seules les températures d'air sont transmises de UWG à TRNSYS, (ombrage, échanges infrarouge sont calculés en plus)
- Températures d'air homogènes dans toute la maille UWG, idem vitesse de vent (pas de variation verticale et autour des bâtiments)
- Pas de rétroaction du bâtiment sur le microclimat urbain

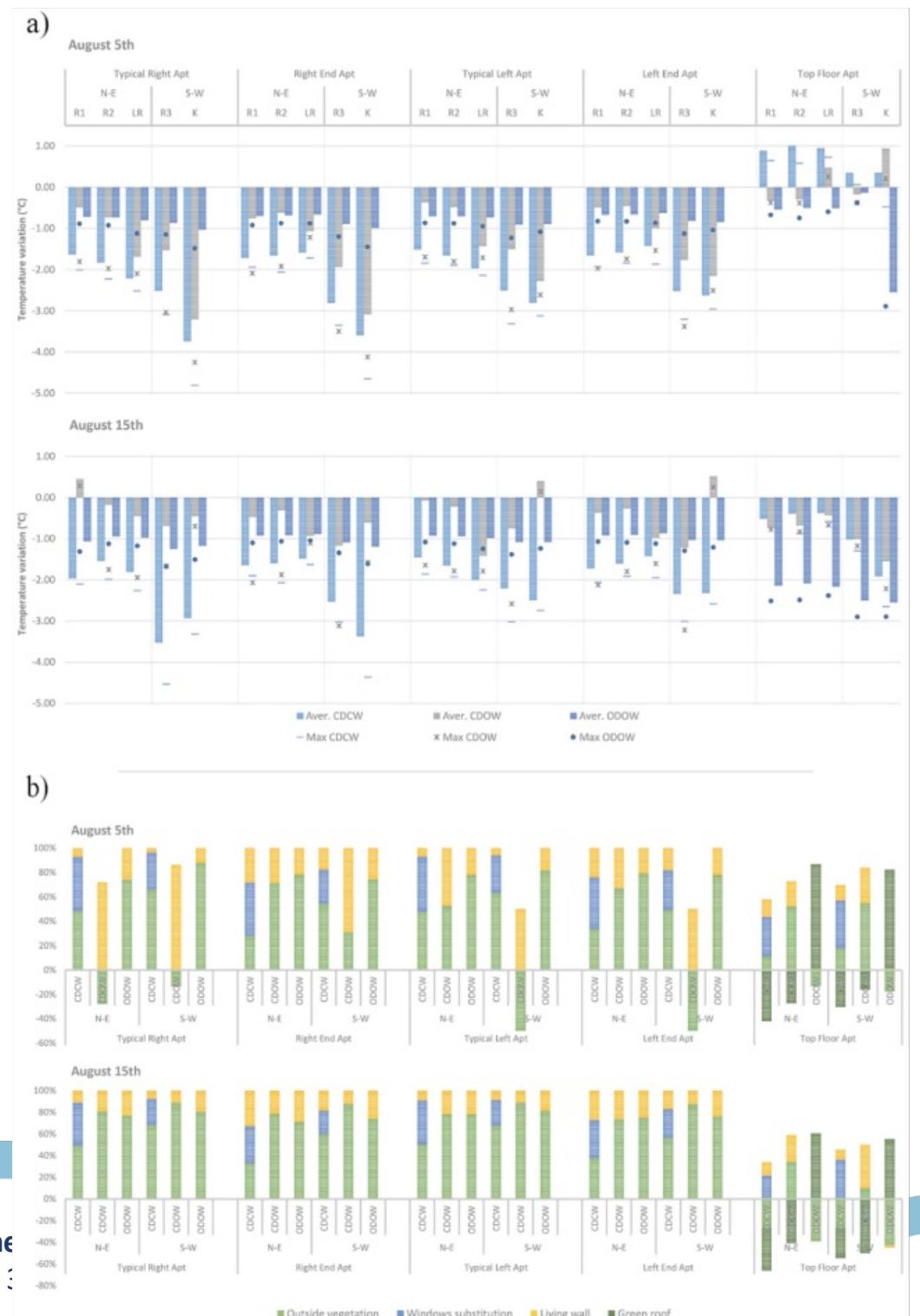
# Exemple d'un chainage ENVI-met -> EnergyPlus



# Exemple d'un chainage ENVI-met -> EnergyPlus

## Analyse

- de l'impact sur la température intérieure (a)
  - fenêtres et portes fermées (CDCW) 
  - fenêtres ouvertes portes fermées (CDOW) 
  - fenêtres et portes ouvertes (ODOW) 
- et contribution des différentes stratégies de réhabilitation (b)
  - changement de fenêtres 
  - végétalisation extérieure 
  - toiture végétale 
  - mur vivant 



Pastore et al. 2017 -

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.022>

# Exemple d'un chainage ENVI-met -> EnergyPlus

## Les avantages

- Spatialisation des conditions aux limites -> Permet une prise en compte des aménagements locaux

## Les limites

- Un maillage structuré
- Lourdeur des calculs -> période calculée de 2 à 3j en général (quid de l'inertie des sols)
- Un détail supérieur à ce qui peut être pris en compte dans EnergyPlus
- Pas de rétroaction du bâtiment sur le microclimat urbain
- Pas de lien avec l'hydrologie

# La solution idéale : un couplage bilatéral entre UCM et BEM

## Coté UCM

- Hétérogénéité des vitesses, températures et H% de l'air
- Inter-réflexions GLO et CLO
- Aménagements, dont une représentation réaliste de la végétation

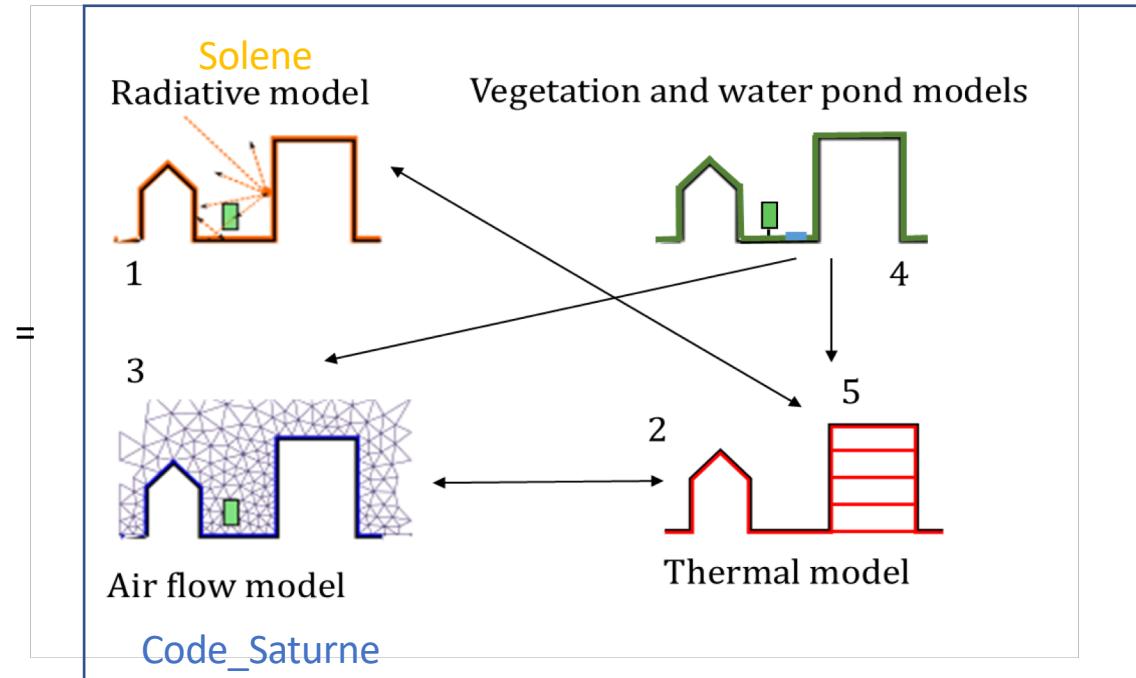
## Côté BEM

- Une représentation a minima par étage
- Calcul du confort intérieur ou des besoins
- Prise en compte des équipements, éventuellement des occupants

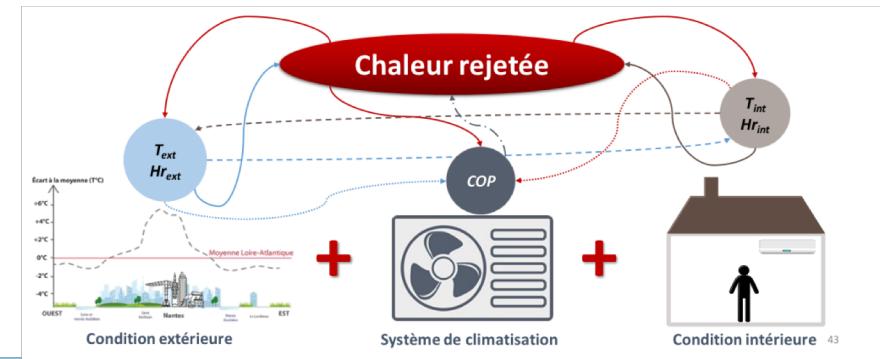
## A l'interface

- Bilan de flux sur la surface extérieure prenant en compte les données locales
- Prise en compte des températures de surface par l'UCM
- Prise en compte des rejets de masse et de chaleur liées aux équipements

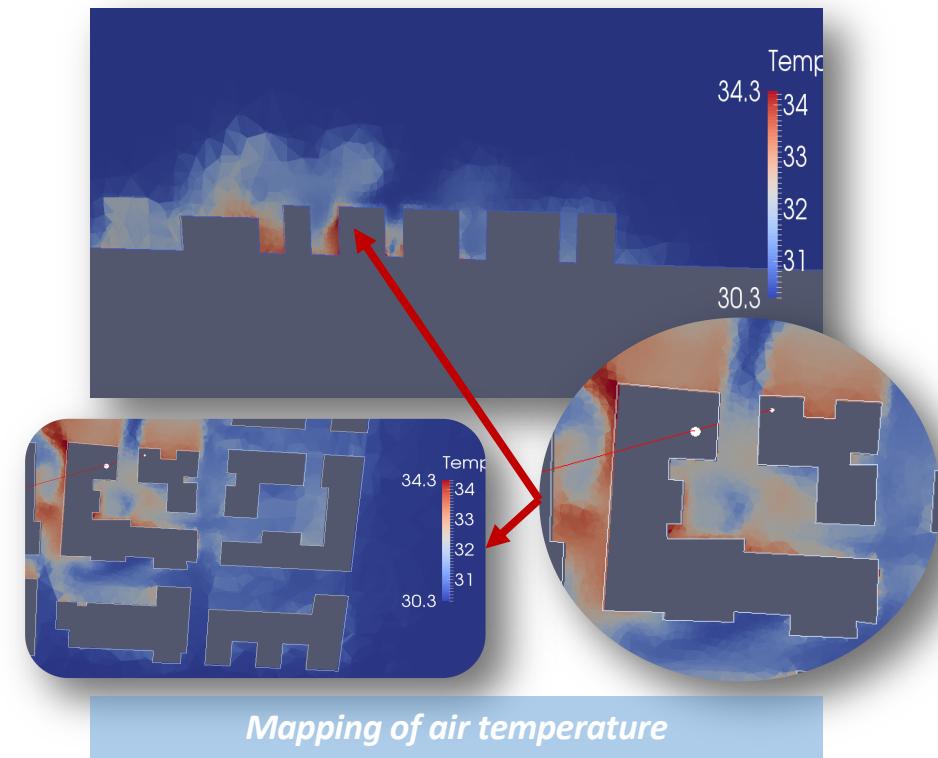
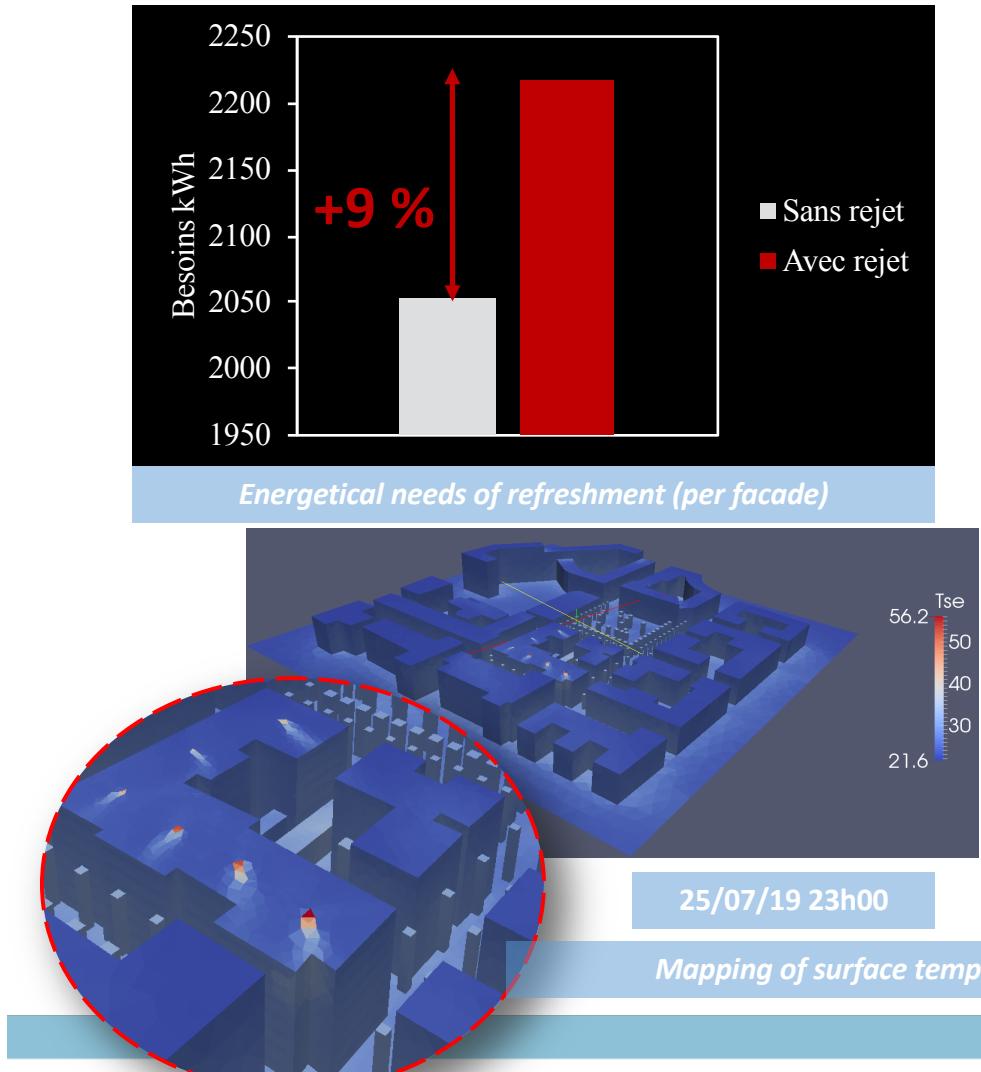
# Exemple d'un UCM qui intègre la thermique du bâtiment : Solene-microclimat



Détail du couplage sur la climatisation



# Exemple d'un UCM qui intègre la thermique du bâtiment : Solene-microclimat



**Impact evaluation of air condition system rejections (facade and roof) within the Buire district, Lyon**

# Exemple d'un UCM qui intègre la thermique du bâtiment : Solene-microclimat

## Les avantages

Accent mis sur la représentation des solutions de rafraîchissement extérieures (arbres, matériaux...)

Possibilité de représenter des formes complexes

Couplage complet

## Les limites

Modèle de thermique du bâtiment très simplifié

Calcul sur des périodes réduites

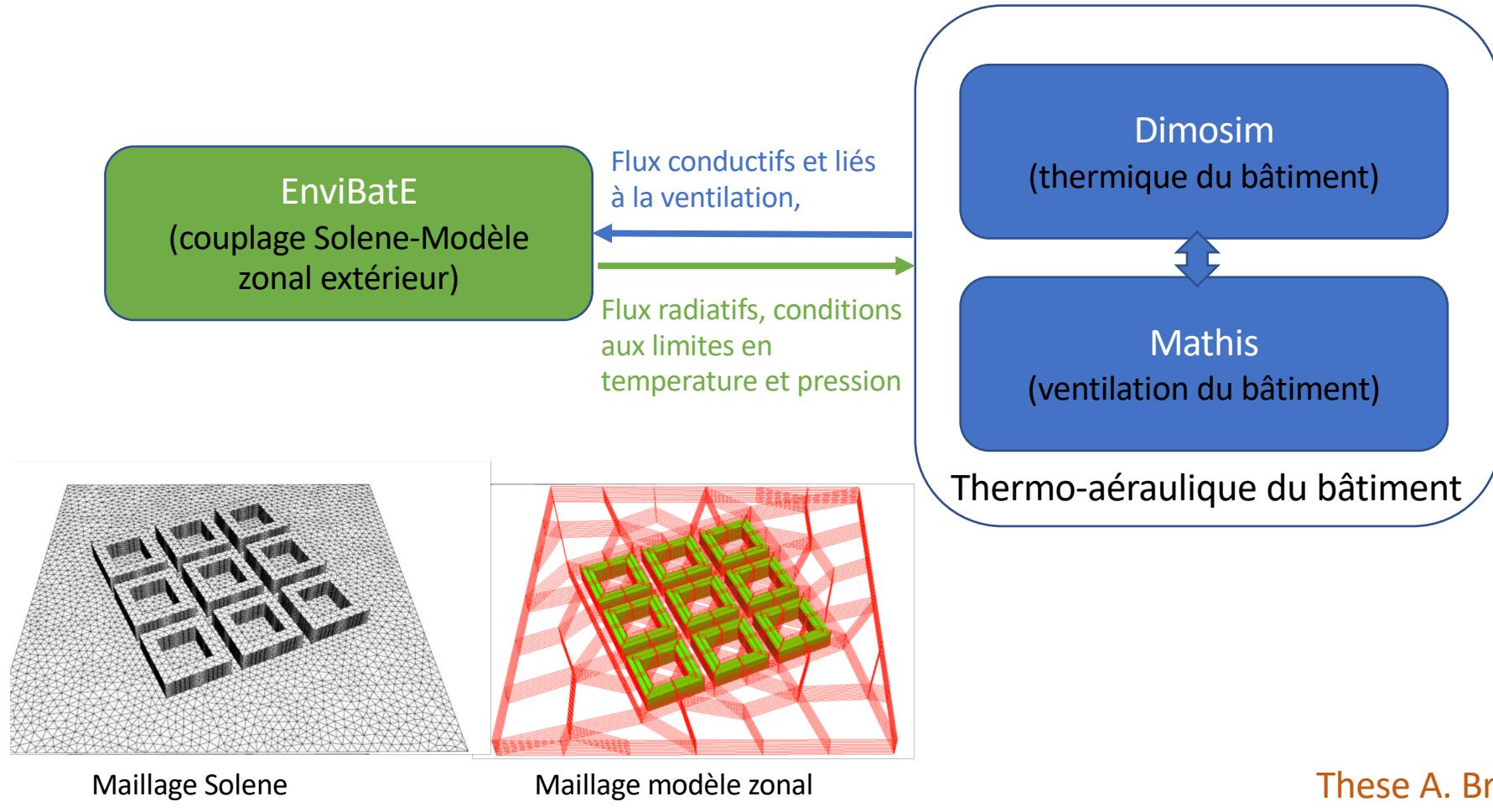
CFD Forces de poussée négligées

Réflexions diffuses uniquement

Pas de transferts d'eau dans le sol, disponibilité en eau imposée pour la végétation

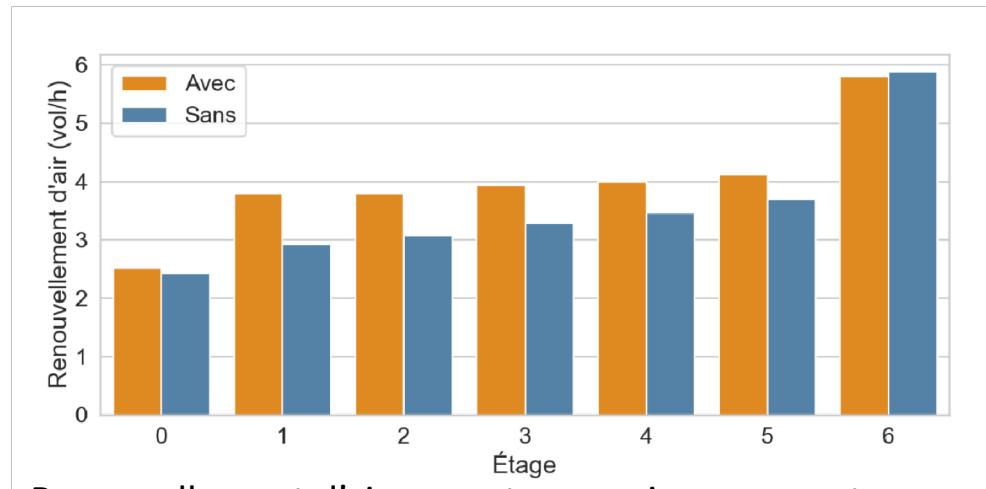
Des temps de calcul qui restent longs et limitent les périodes de calcul à quelques jours

# Exemple d'un couplage EnviBatE-Dimosim-Mathis



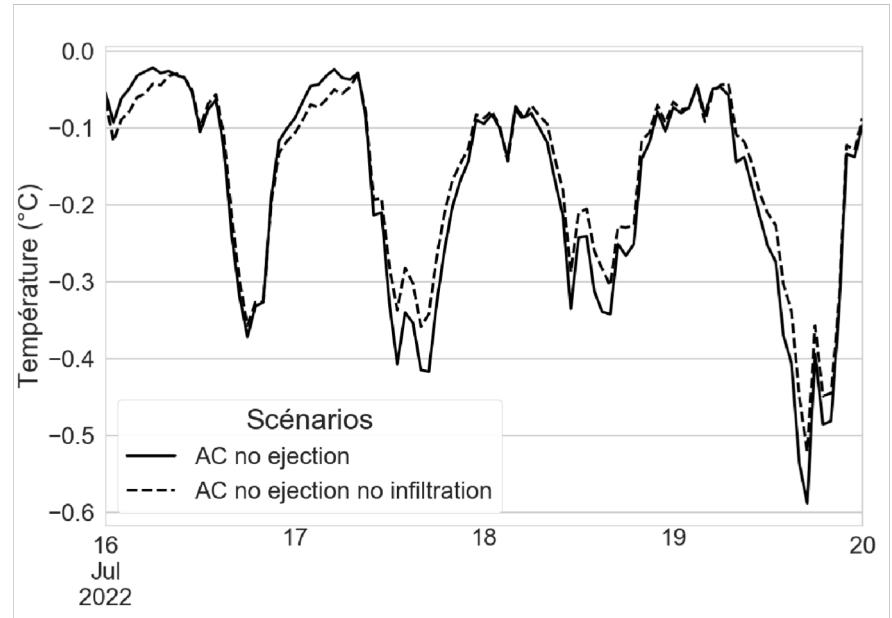
# Exemple d'un couplage EnviBatE-Dimosim-Mathis

Résultats de simulations sur Nice en période de canicule



Renouvellement d'air avec et sans prise en compte du microclimat

These A. Bryk (2025)



Ecart de température extérieure entre le scenario où toutes les interactions sont prises en compte et les cas

- sans rejets de climatisation et sans prise en compte des débits de ventilation/infiltration
- sans rejets de climatisation

# Exemple d'un couplage EnviBatE-Dimosim-Mathis

## Les avantages

Couplage complet

Des temps de calcul qui permettent des études sur 1 an

Un niveau de représentation du bâtiment qui permet une analyse assez fine

## Les limites

Modèle zonal, approche empirique des écoulements

Réflexions diffuses uniquement

Représentation un peu grossière pour l'étude de solutions ponctuelles d'aménagement

Pas de lien avec l'hydrologie

## 4 - Conclusions

Il y a un véritable intérêt à prendre en compte les effets du microclimat urbain dans la modélisation thermique du bâtiment

Mais aussi des limites dans les modèles actuels

- Dès qu'il y a de la CFD, les temps de calcul deviennent prohibitifs
- Les BEM ont des limites quand il s'agit d'intégrer le détail des simulations extérieures
- Les horizons temporels entre BEM et UCM sont souvent non compatibles
- Les UCM demandent une quantité de données souvent très incertaines (sols, végétation, matériaux...)
- Des validations très partielles

## 4 - Conclusions

### Perspectives

- Les BEM doivent évoluer pour prendre en compte la variabilité spatiale des conditions aux limites et les flux sur les surfaces extérieures (notamment rayonnement GLO)
- Les UCM doivent évoluer
  - pour aborder des horizons temporels supérieurs
  - et mieux représenter les différentes solutions de rafraîchissement urbain
- Les couplages complets doivent être possibles, pour cela, les UCM doivent aussi accepter des conditions aux limites venant du bâtiments (par exemple rejets climatisation et ventilation)
- **Des initiatives de validation des outils (projet ANR DIAMS, thèse M Muanda Lutete, thèse A. Bryk, PEPR VF++, IEA EBC Annex 97**

Welcome to the

# International Energy Agency's Energy in Buildings and Communities Programme



## Annexes en incubation

- Flexibilization and optimization of heat pump systems in existing buildings through secondary-side digitalization, portée par la Finlande
- IEQ and Decarbonization Synergies in Residential Buildings, portée par les Etats Unis.

## Annexe en montage

- Annex 94 : Validation and Verification of In-situ Building Energy Performance Measurement Techniques, portée par la Grande Bretagne
- Annex 95 : Human-centric building design and operation for a changing climate, portée par le Canada et les Etats-Unis
- Annex 96 : Grid Integrated Control of Buildings, portée par l'Australie et le Danemark
- Annex 97 : Resilient and Sustainable Cooling in Cities, portée par l'Autriche

Marjorie Musy

Responsable de l'équipe de recherche *Bâtiments performants dans leur environnement*

[marjorie.musy@cerema.fr](mailto:marjorie.musy@cerema.fr)