

1

Se renseigner sur la thèse . . . !

Cécile de Munck

Unité de recherche : CNRM-GAME/GMME/TURBAU

Directrice de thèse : Aude Lemonsu

Modélisation de la végétation urbaine
et des stratégies d'adaptation au changement climatique
pour l'amélioration du confort climatique
et de la demande énergétique en ville



8 novembre 2013

1 Se renseigner sur la thèse !

Solutions

Approche

Modélisation de la végétation urbaine

et des stratégies d'adaptation au changement climatique pour

l'amélioration du confort et de la demande

énergétique en ville

Objectifs

Problème

Contexte

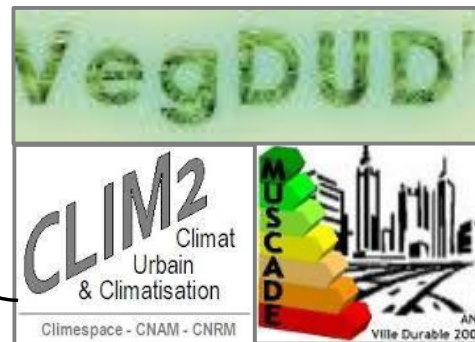
2

La thèse a pour objectif. . . . !

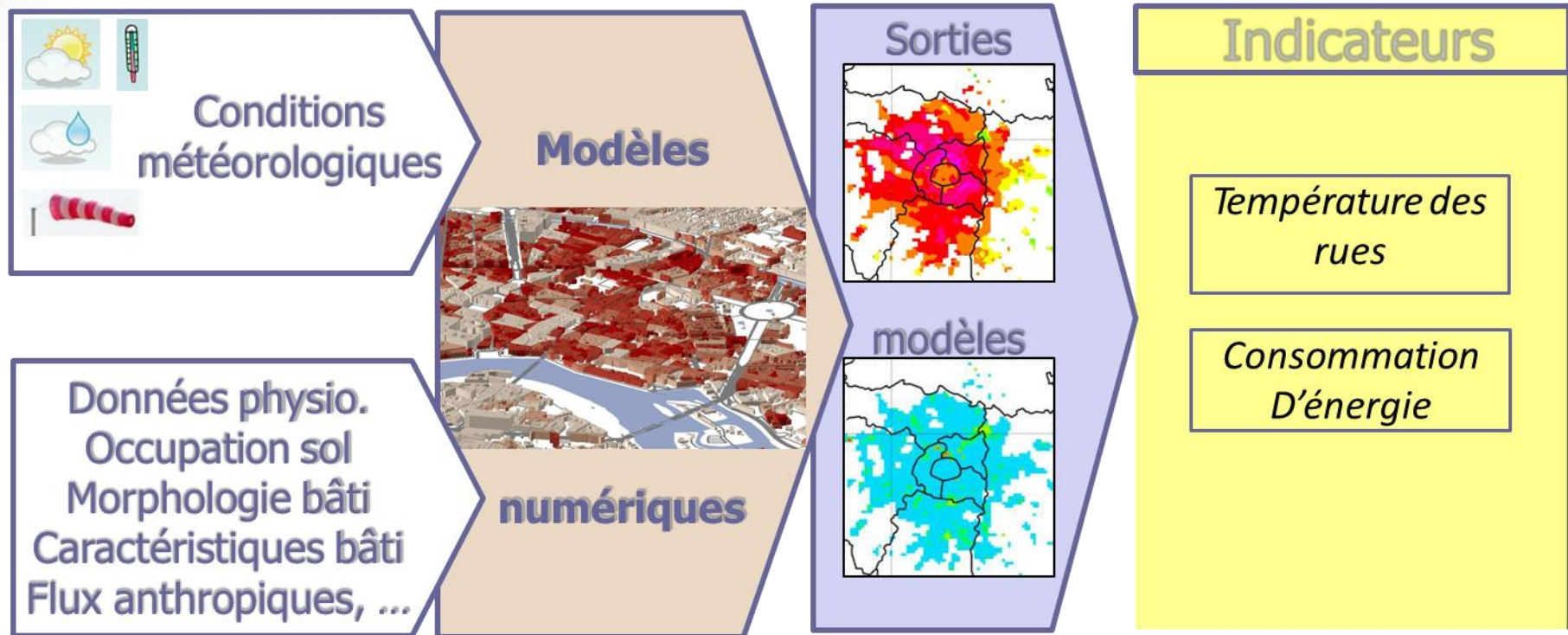


Évaluer l'impact de la climatisation sur le climat extérieur et la consommation énergétique

Améliorer la description de la végétation urbaine dans le modèle de canopée urbaine utilisé au GAME



Évaluer les performances de la végétation pour l'amélioration du climat extérieur, du confort thermique, et de la consommation énergétique des bâtiments



Scénarios

Simulation
du climat urbain

Évaluation de l'impact
des scénarios

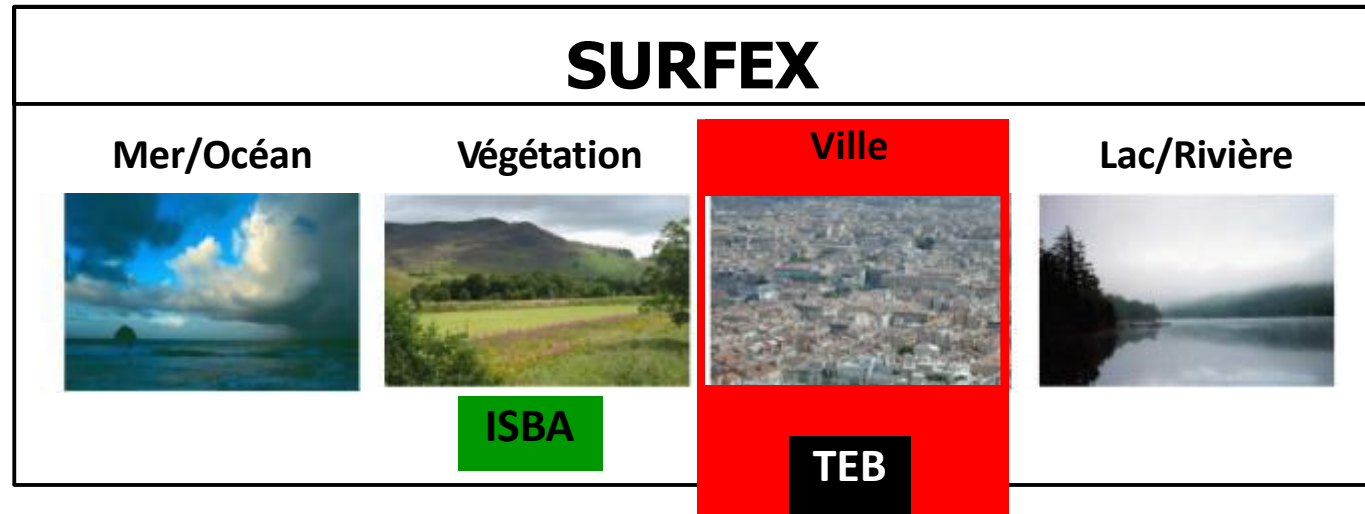
Modélisation
des surface



Modélisation du
microclimat

Modélisation des surface

- Surface définie comme une mosaïque de différents types de couverts
- Chaque type de couvert dispose d'une paramétrisation spécifique



- Flux d'énergie, d'eau et de quantité de mouvement calculés pour chaque type de surface au sein de chaque paramétrisation, puis agrégés à l'échelle de la maille

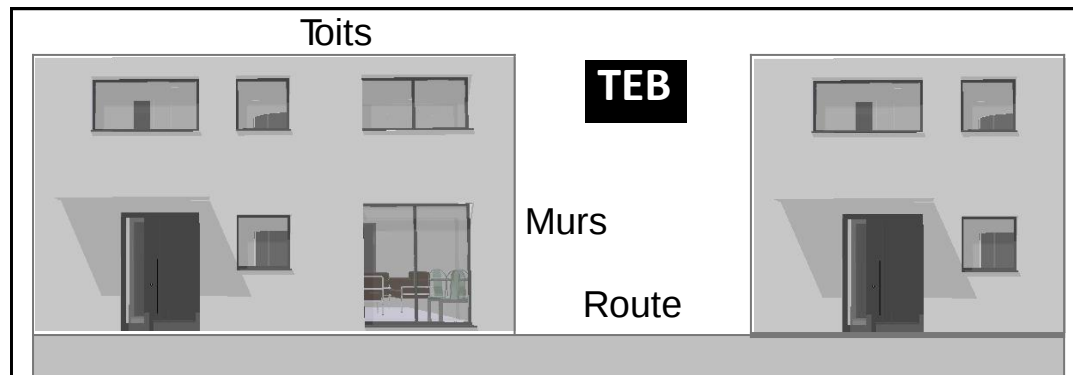
Modélisation du microclimat

- Canopée urbaine représentée par un réseau de **rues canyon**

Masson (2000) *Bound. Lay. Meteorol.*

- **Canyon urbain moyen** (murs, toits, routes) défini à partir de :

- caractéristiques géométriques
- propriétés radiatives et thermiques des matériaux



- Utilisé couplé à un modèle atmosphérique ou forcé par des observations
- Echelle spatiale : de quelques km à une centaine de m

4

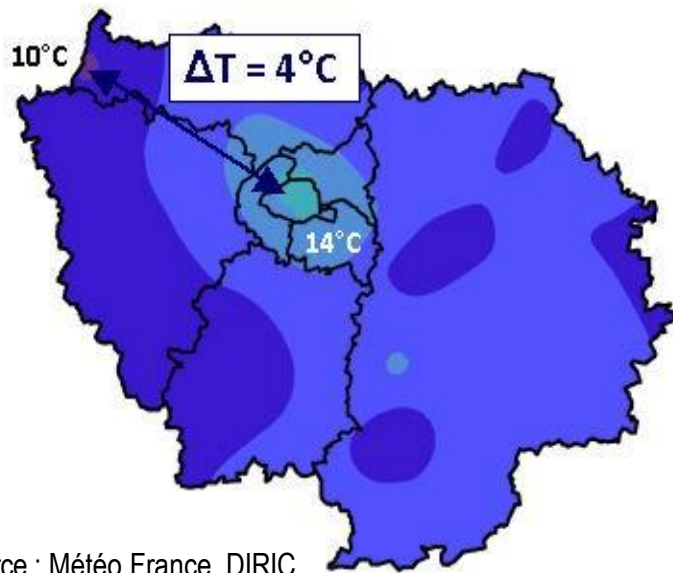
Contexte et problèmes détectés en ville



1^{er} constat

Un Microclimat particulier en ville !

Températures minimales nocturnes
relevées en Ile-de-France (juillet 2000)



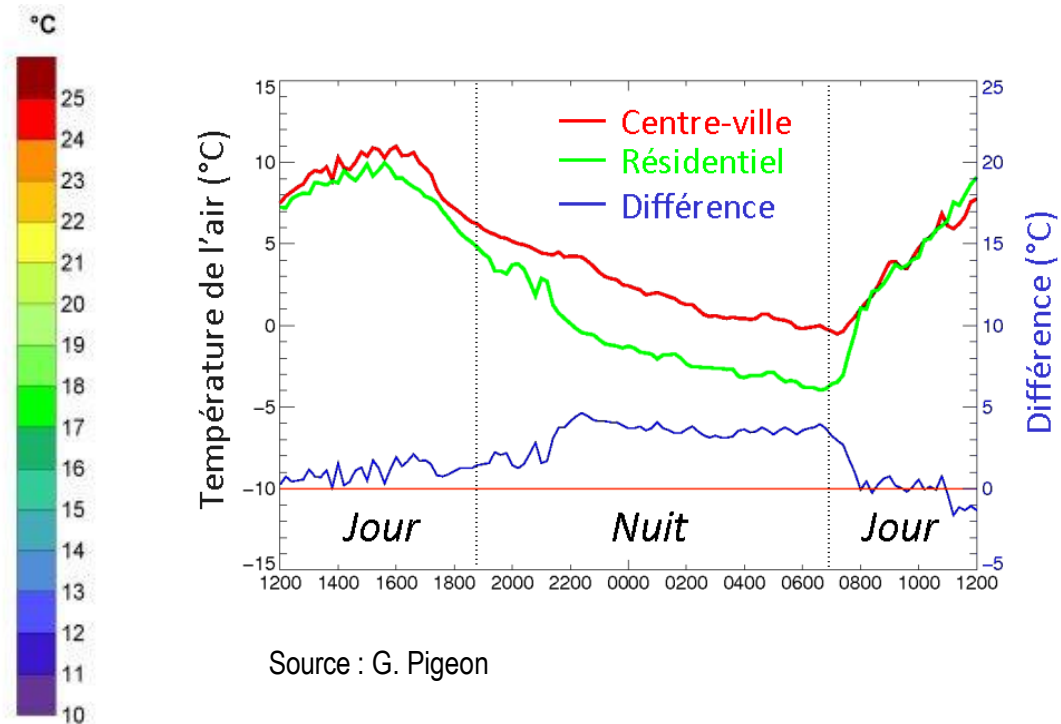
Source : Météo France, DIRIC

Différence positive de température entre
la ville et la campagne

=

Ilot de chaleur urbain

Températures relevées à Toulouse
pendant la campagne CAPITOUL (hiver 2005)



Source : G. Pigeon

Plus marquée la nuit

- Fonction de la taille des villes et du taux d'urbanisation
- Peut atteindre jusqu'à 10°C

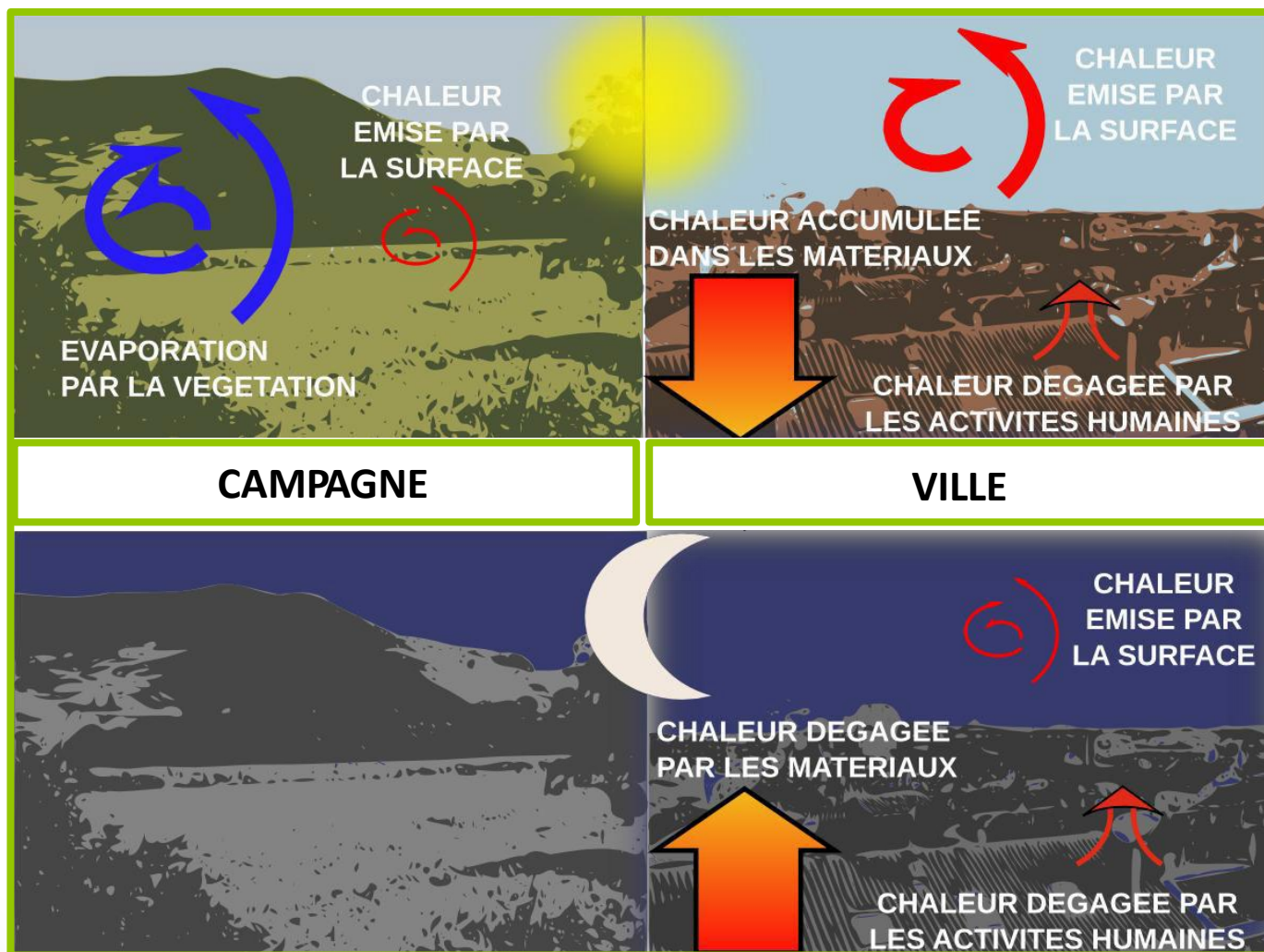
1^{er} constat

.... Quel est l'origine de cette chaleur?



$$\textcircled{Q_F} + Q^* = Q_H + Q_E + \Delta Q_s$$

Flux anthropiques Rayonnement net Flux de chaleur sensible Flux de chaleur latente Flux de stockage



Un Microclimat particulier en ville.....!

Contexte climatique s'impose

2^e constat

Changement climatique et conséquences en ville



GIEC - IPCC (2013) 5th Assessment Report

- Hausse des températures moyennes :
- Recrudescence d'évènements extrêmes
- Forte variabilité inter annuelle et spatiale

au moins + 1.5/2 °C

- précipitations intenses
- vagues de chaleur

Moisselin et al. (2002)

Déqué et al. (2007) *Clim. Change*

- Recrudescence d'évènements extrêmes.
- Hausse des températures supérieure aux tendances globales
- Fortes variabilités régionales pour la T max

Lemonsu et al. (2013) *Climatic Change*

Beaulant et al. (2012) *NATO SPSSC*

- Réchauffement moyen des Tmin/max marqué
- Augmentation du nbre de jours chauds / **canicules**

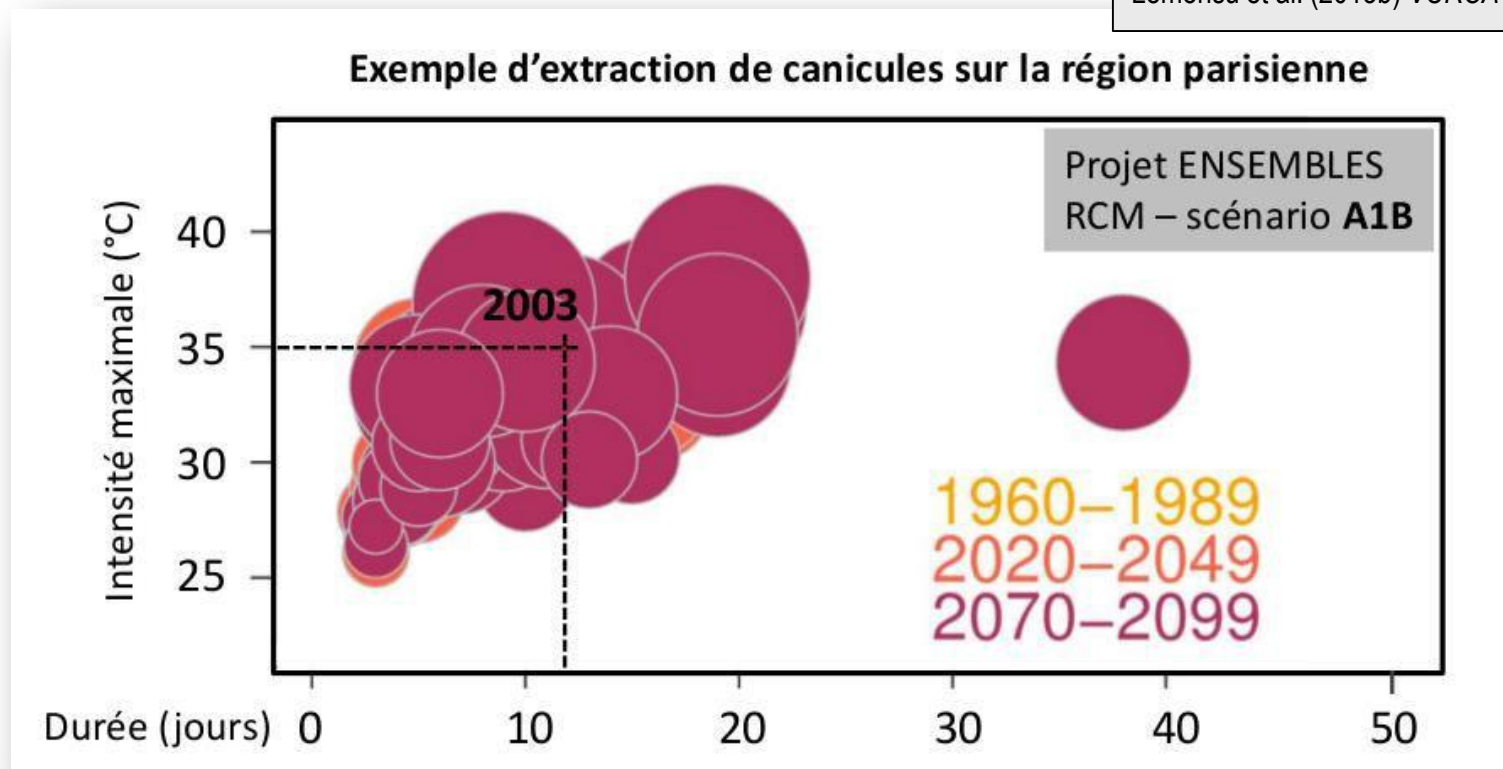
+ 3.5 /+ 5 °C été
+ 2 / 2.4 °C hiver

.... Une telle augmentation a engendré une canicule.....



La canicule européenne de 2003 est un événement climatique d'ampleur exceptionnelle survenu de juin à août 2003 et qui a été marqué par de nombreux records de température au cours de la première quinzaine du mois d'août.

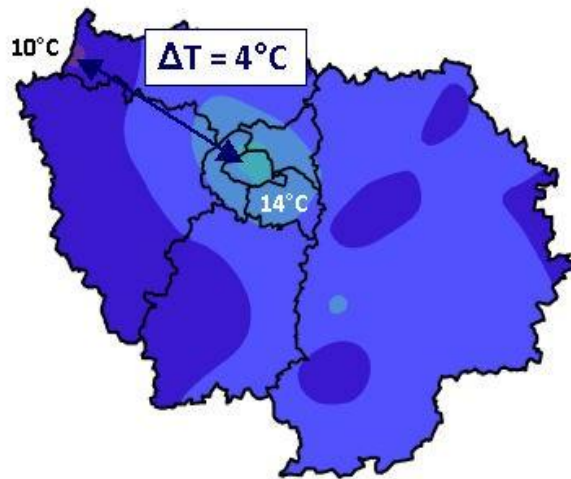
Lemonsu et al. (2013b) VURCA



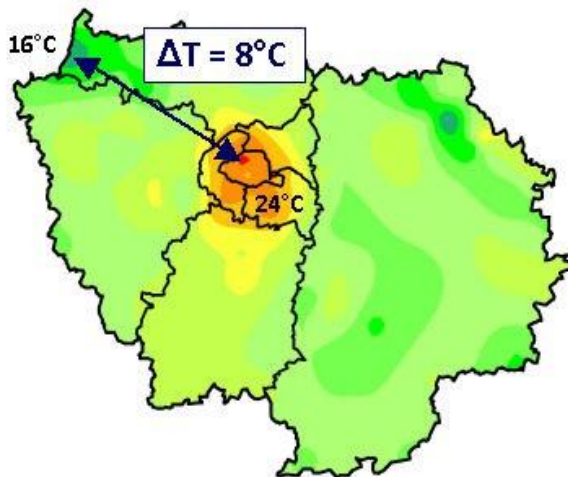
..... Les conséquences de la canicule Parisienne

Source : Météo France, DIRIC

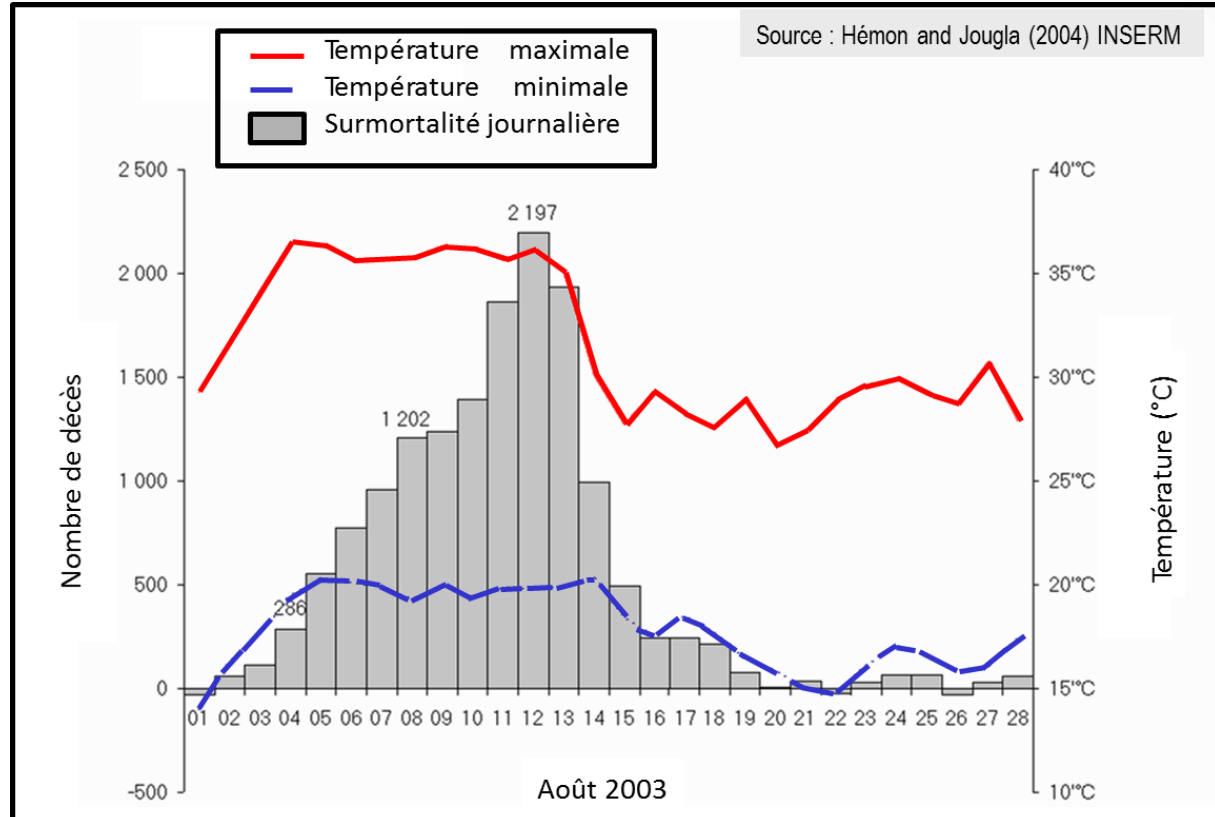
Températures minimales
(Juillet 2000)



Températures minimales
(8-13 août 2003)



Source : Hémon and Jouglé (2004) INSERM



- ☐ intensification de l'îlot de chaleur
- ☐ aggravation des impacts sanitaire
- ☐ **surconsommation d'énergie** + 5 à 10 % (demande de froid)



Face à de telles conséquences, des stratégies d'atténuation et d'adaptation sont envisagées pour les villes d'aujourd'hui et de demain

5

Stratégies d'adaptation



Végétation



Climatisation



Des stratégies pour s'adapter au climat urbain et au changement climatique en ville

S'adapter au changement climatique

1^{er} stratégie

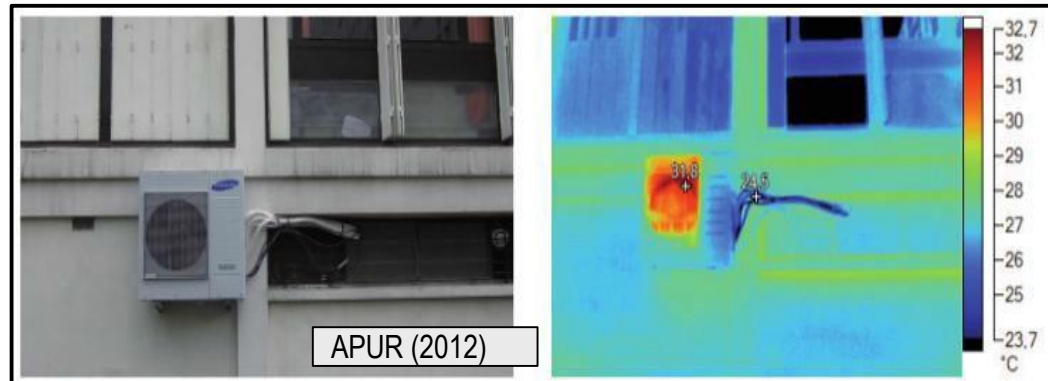
La climatisation



-Mesure d'adaptation rapide et efficace pour assurer le confort thermique intérieur



-Consomme de l'énergie
-Rejette de la chaleur dans les couches basses de l'atmosphère

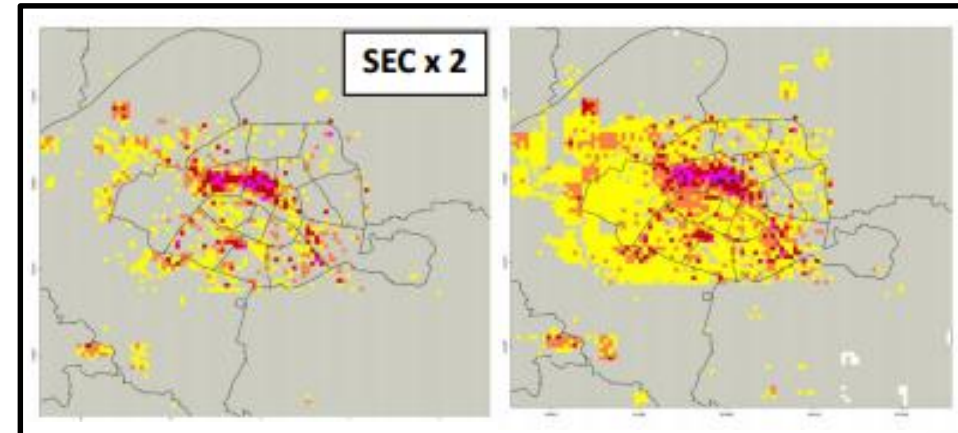
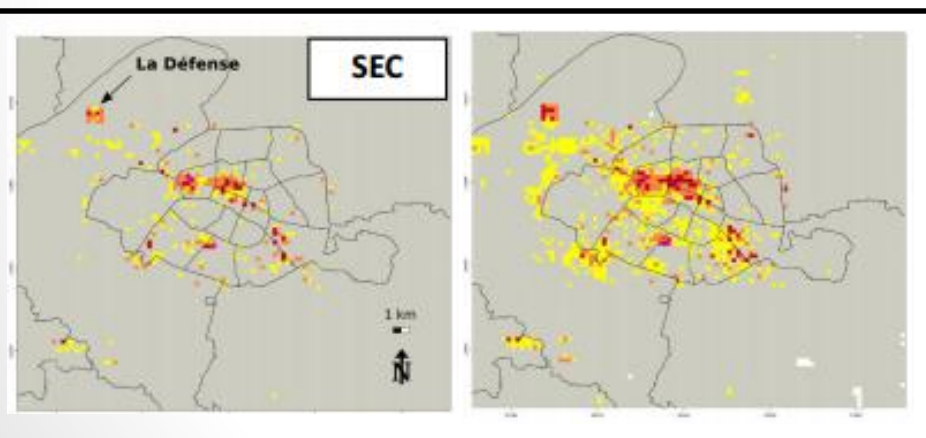
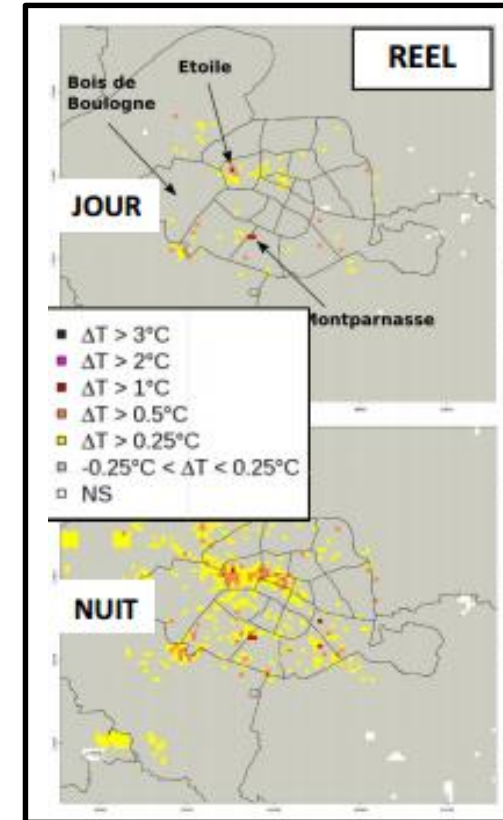
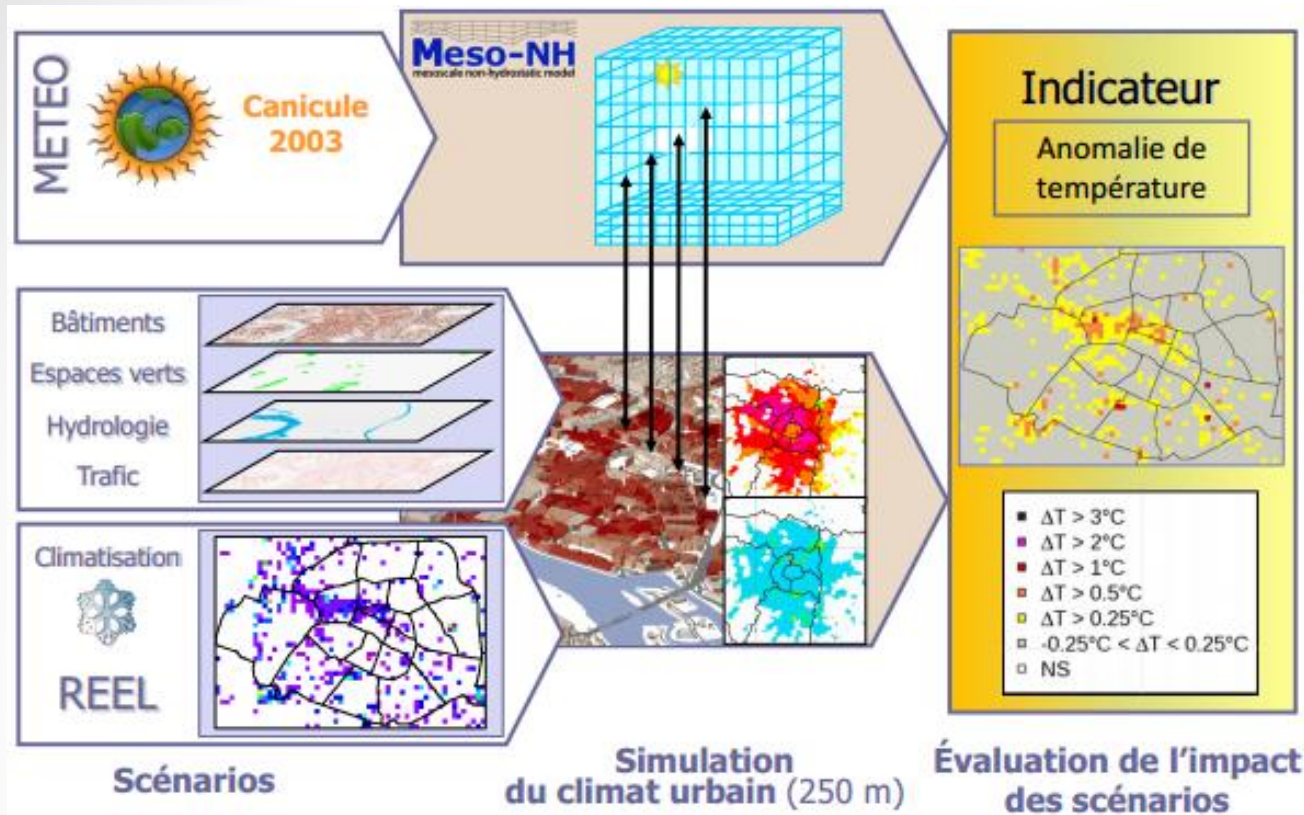


APUR (2012)

*Quel est l'effet des systèmes de refroidissement à plus grande échelle ?
Certains systèmes affectent-ils plus le climat urbain que d'autres ?*

REF	Sans climatisation
REEL (PRESENT) 	Systèmes de refroidissement recensés dans la ville :
SEC (PRESENT)	Toute la climatisation est assurée par des systèmes secs
SEC x 2 (2030)	Toute la climatisation est assurée par des systèmes secs. Rejets doublés.

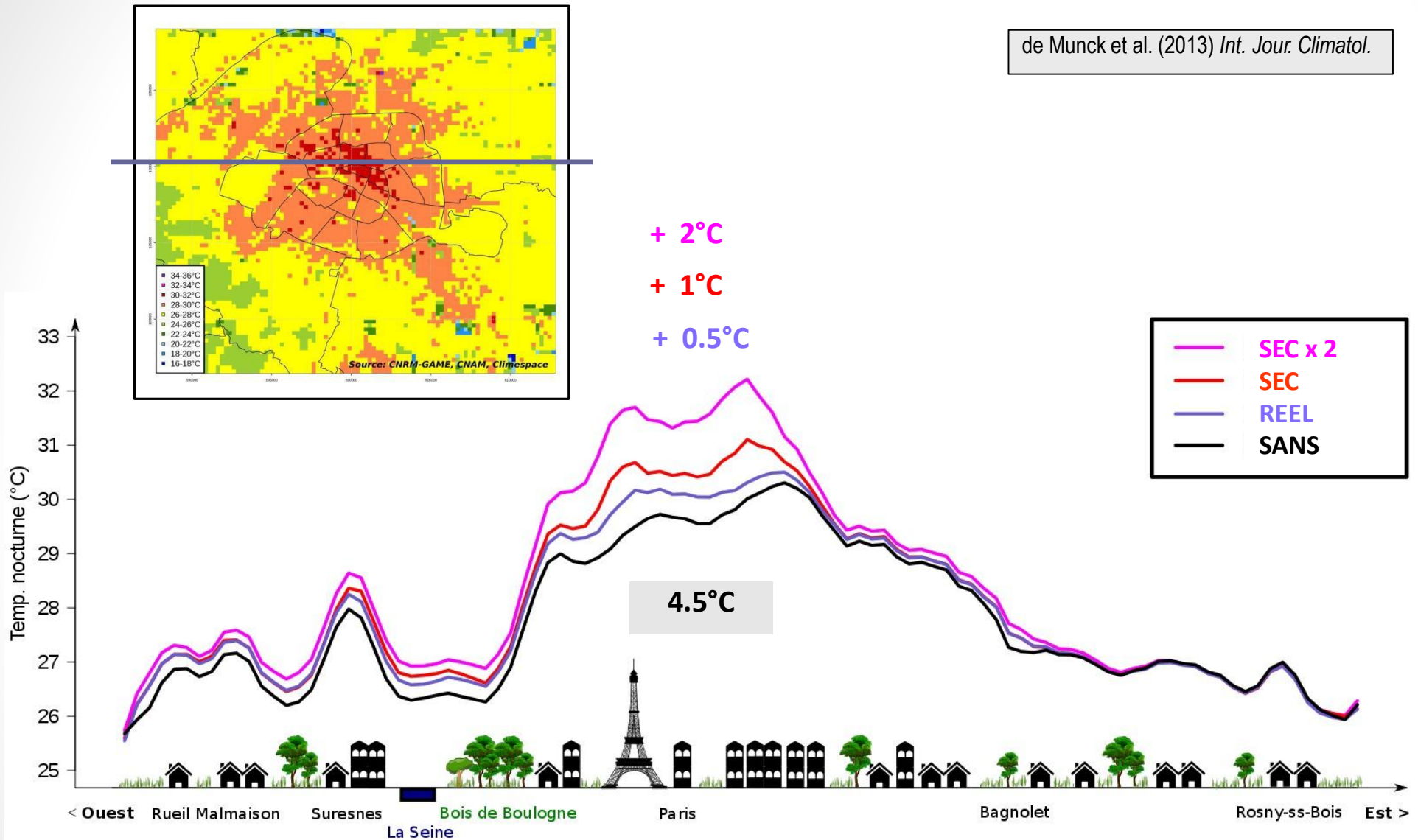
Méthode numérique



Résultat ⇒ Réchauffement plus marqué la nuit

Augmentations des températures nocturnes engendrées par la climatisation

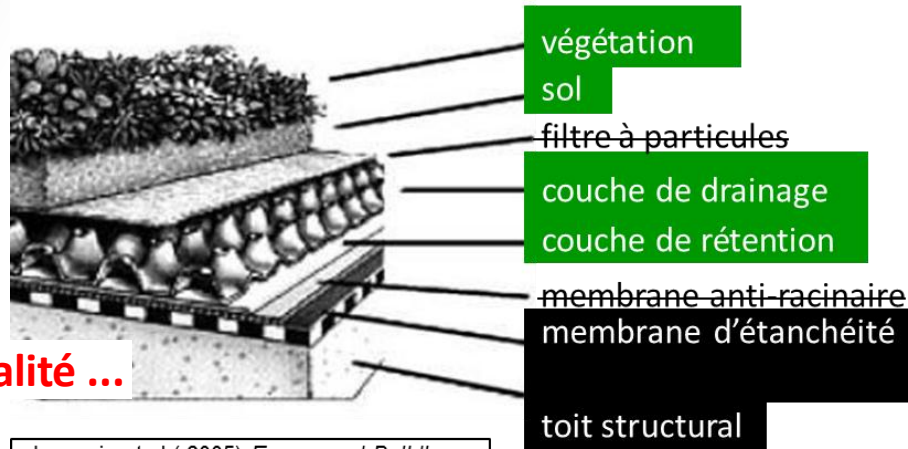
de Munck et al. (2013) *Int. Jour. Climatol.*



1. La climatisation engendre une augmentation de la température de l'air extérieur significative.
2. Cette augmentation de température est plus marquée la nuit que le jour.
3. L'augmentation de température est proportionnelle à la puissance des rejets de chaleur sensible.

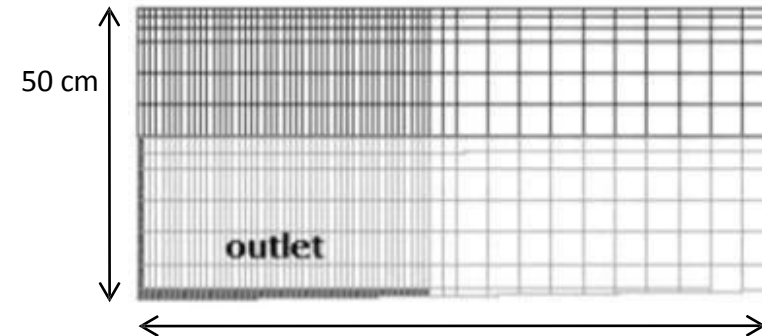
1- Développement d'un modèle de toiture végétalisée pour TEB

... aux modèles physiques existants

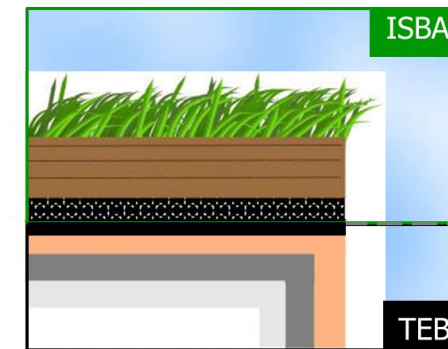


Hydrus 2D

Simunek et al. (1994) USDA



... au modèle physique proposé



→ Modélisation physique détaillée

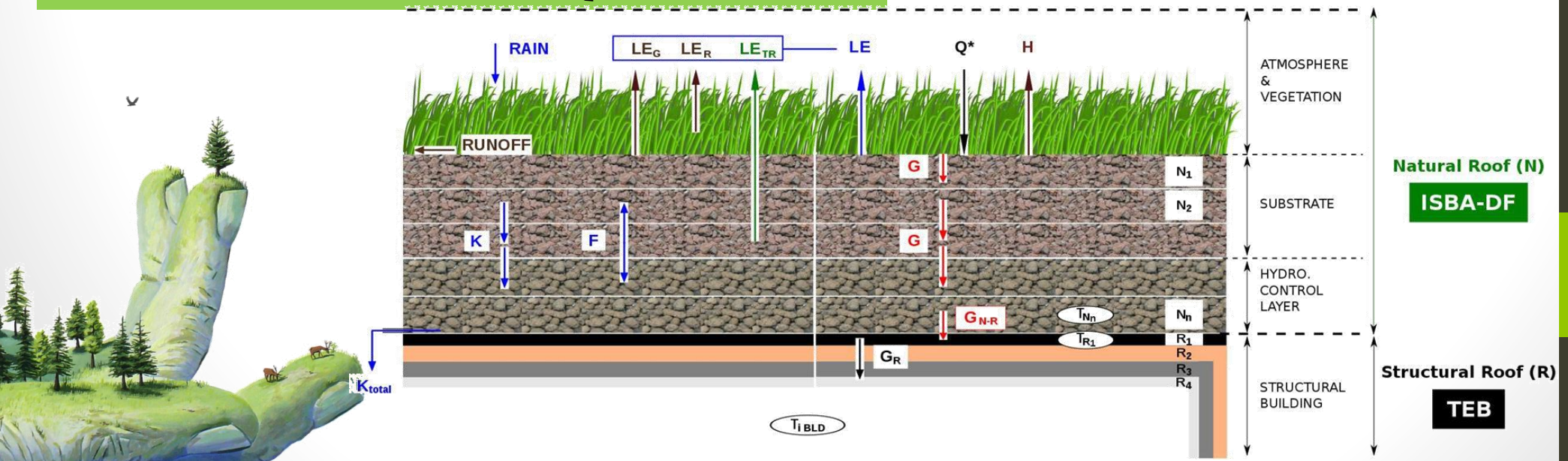
→ Sous différents climats

→ A l'échelle de la ville

→ Interactions thermo-énergétiques

TVE / atmosphère
TVE / bâti

→ Transferts hydrologiques



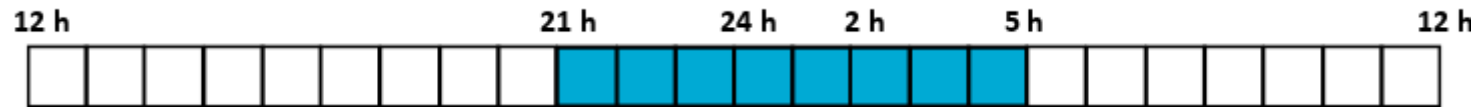
2-Paramétrisation de l'arrosage de la végétation urbaine

- Arrosage estival
- Automatique

SOPREMA (2011)

$Irrig = 25 \text{ L m}^{-2} \text{ sem}^{-1}$

$\Delta t_{Irrig} = 8 \text{ heures de nuit}$



Végétation de pleine terre



Végétation en toiture



$$P_{global} = P + \left(Irrig \times \frac{24}{\Delta t_{Irrig}} \right) = P_{feuillage} + P_{sol}$$

$$P_{sol} = P_{nat} - f_{veg} P_{nat} + R_{veg} + Irrig \times \frac{24}{\Delta t_{Irrig}}$$

3-Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

A- La modélisation du climat urbain (1km)



METEO



Canicule 2003

METEO

1998-2008



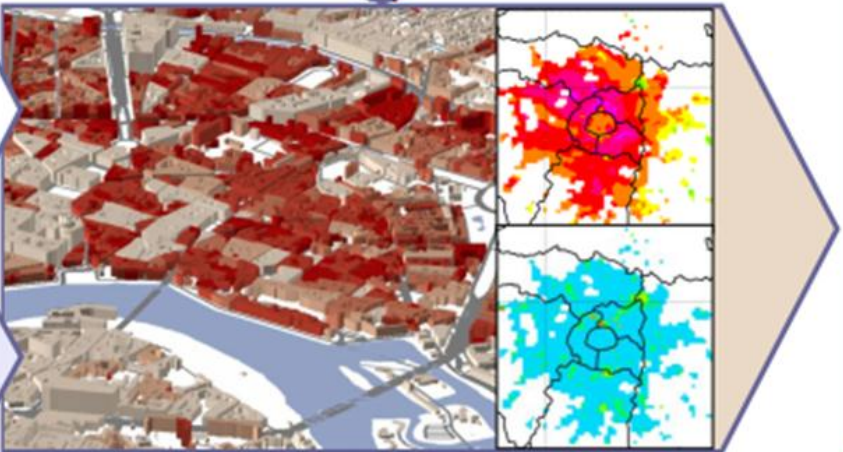
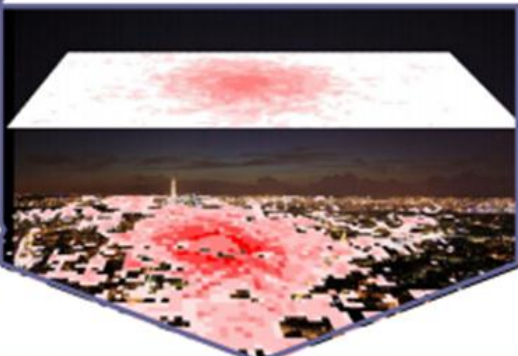
VEG



USAGE



Impact de la ville sur le forçage atm.
Forçage de température 2D



Indicateurs

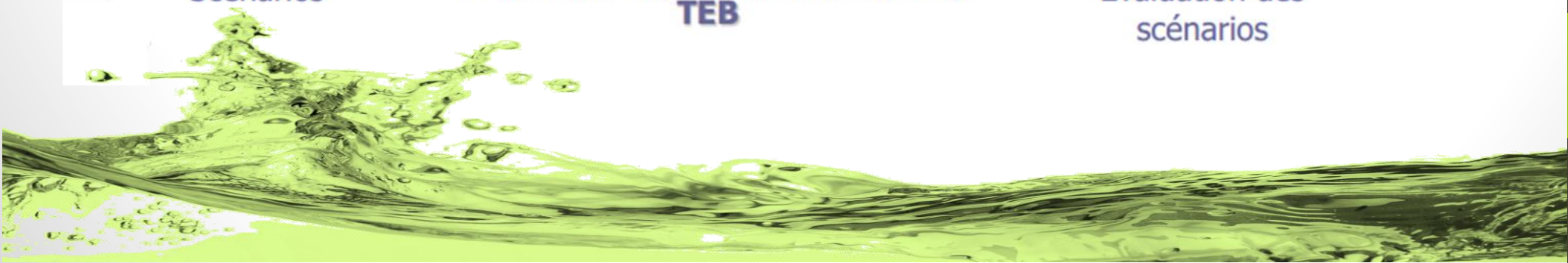
- Confort/stress thermique
- Consommation d'énergie
- Ressources en eau

Scénarios

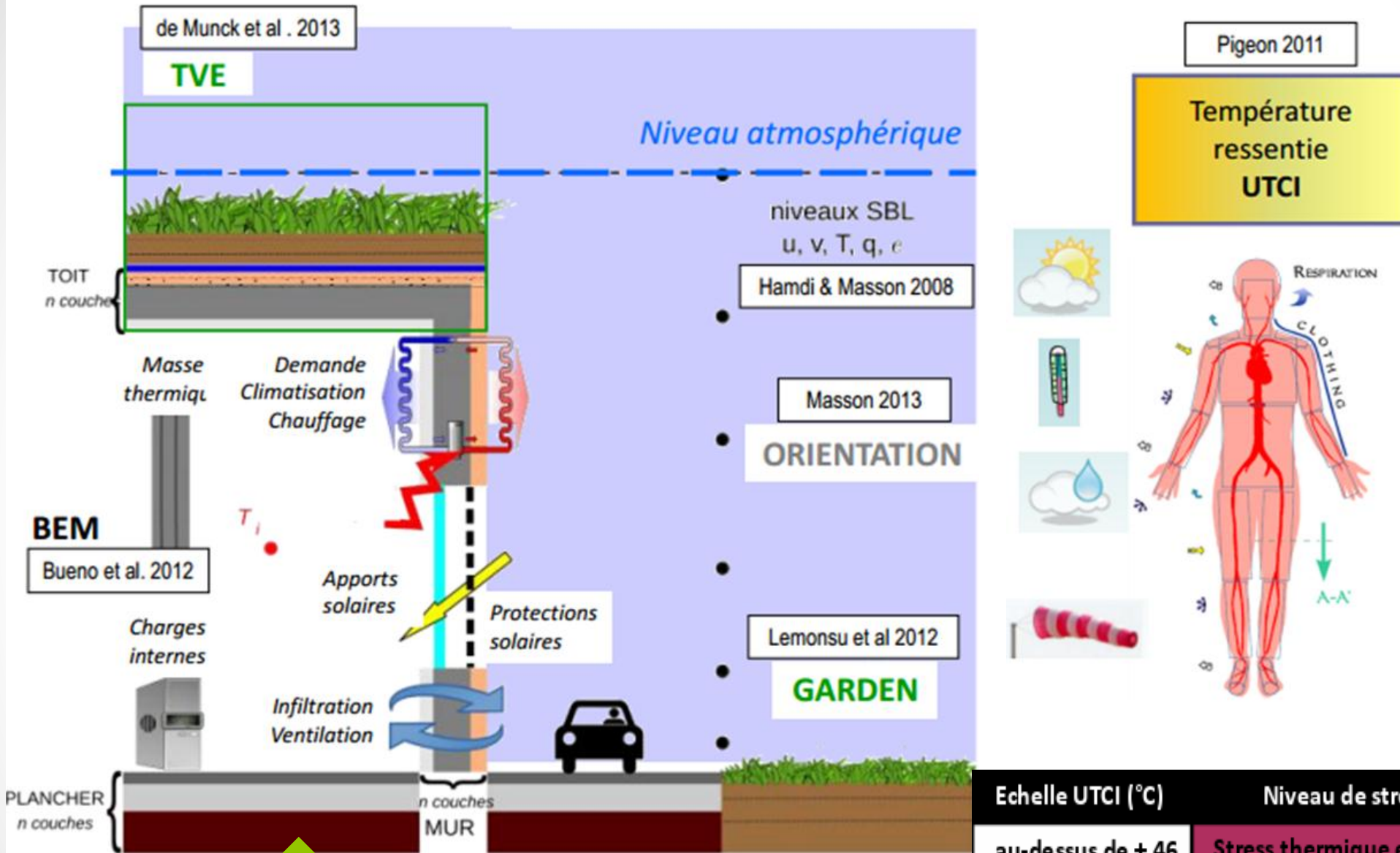
Modélisation du climat urbain (1km)
TEB

Évaluation des scénarios

S'adapter au changement climatique



B-configuration du modèle TEB utilisé



1. Impact de la végétation au sol
2. Impact de la végétation en toiture
3. Impact de la combinaison des deux

Conséquence en terme de confort thermique

Echelle UTCI (°C)	Niveau de stress
au-dessus de + 46	Stress thermique extrême
+ 38 à + 46	Stress thermique très élevé
+ 32 à + 38	Stress thermique élevé
+ 26 à + 32	Stress thermique modéré
+ 9 à + 26	Pas de stress thermique

Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

.....Impact sur les températures des rues = ΔT MAX.....

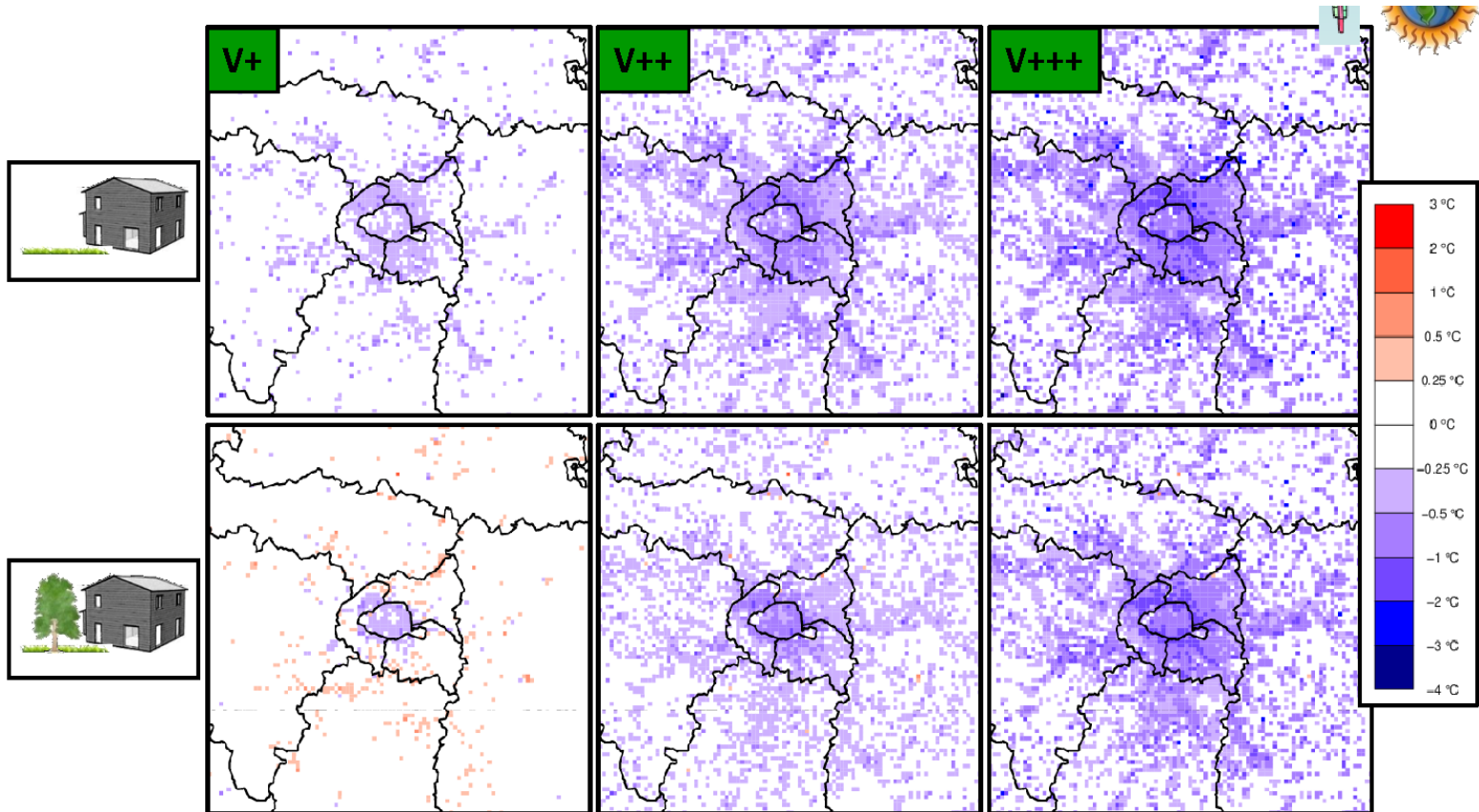
Impact du verdissement
sur la consommation
d'énergie liée à la
climatisation

Conséquences du
verdissement sur la
consommation d'eau
pour l'arrosage

Impact du verdissement
sur la demande de
climatisation &
chauffage

Impact du verdissement
sur la consommation
d'énergie annuelle

Impacts sur la gestion
de la ressource en eau



⇒ le rafraîchissement est d'autant plus marqué que le taux de verdissement est élevé : **de l'ordre de - 0.25 à -2 °C**

⇒ de jour, la végétation basse est sensiblement plus efficace que la végétation mixte arborée

Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

.....Impact du verdissement sur la consommation d'énergie liée à la climatisation.....

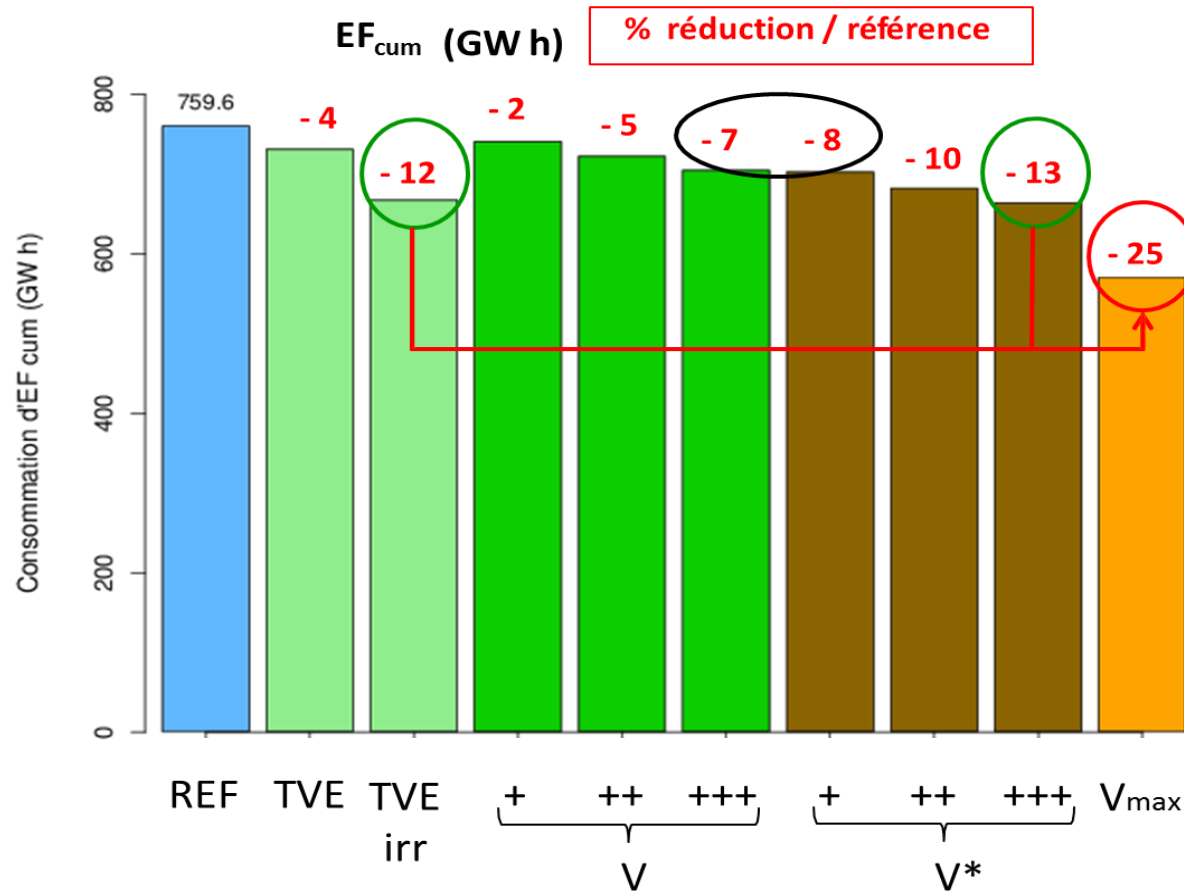
Impact sur les températures des rues
= ΔT_{MAX}

Conséquences du verdissement sur la consommation d'eau pour l'arrosage

Impact du verdissement sur la demande de climatisation & chauffage

Impact du verdissement sur la consommation d'énergie annuelle

Impacts sur la gestion de la ressource en eau



⇒ Les TVE irriguées sont aussi efficaces que le scénario le plus arboré

⇒ + 25% de végétation arborée permet une réduction d'énergie équivalente

à + **75%** de végétation basse

⇒ Effet cumulé pour la combinaison de végétation maximale

Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

.....Conséquences du verdissement sur la consommation d'eau pour l'arrosage.....

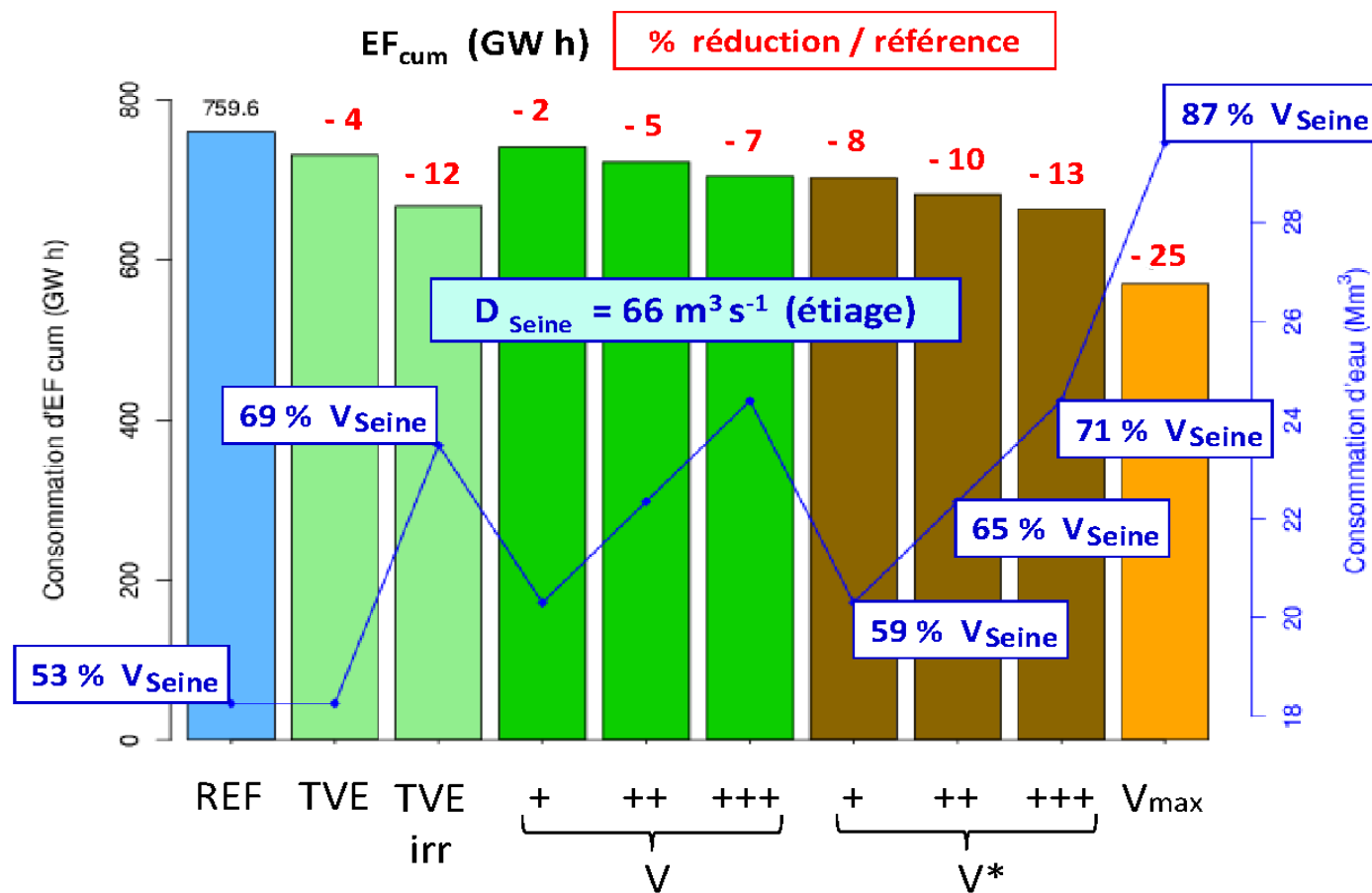
Impact du verdissement sur la consommation d'énergie liée à la climatisation

Impact sur les températures des rues = ΔT_{MAX}

Impact du verdissement sur la demande de climatisation & chauffage

Impact du verdissement sur la consommation d'énergie annuelle

Impacts sur la gestion de la ressource en eau



⇒ l'installation de TVE, même non arrosée, ont un effet isolant qui permet de diminuer la consommation de climatisation nécessaire à la demande de confort intérieur. Leur arrosage engendre une diminution conséquente de la consommation d'énergie

Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

..... Impact du verdissement sur la demande de climatisation & chauffage

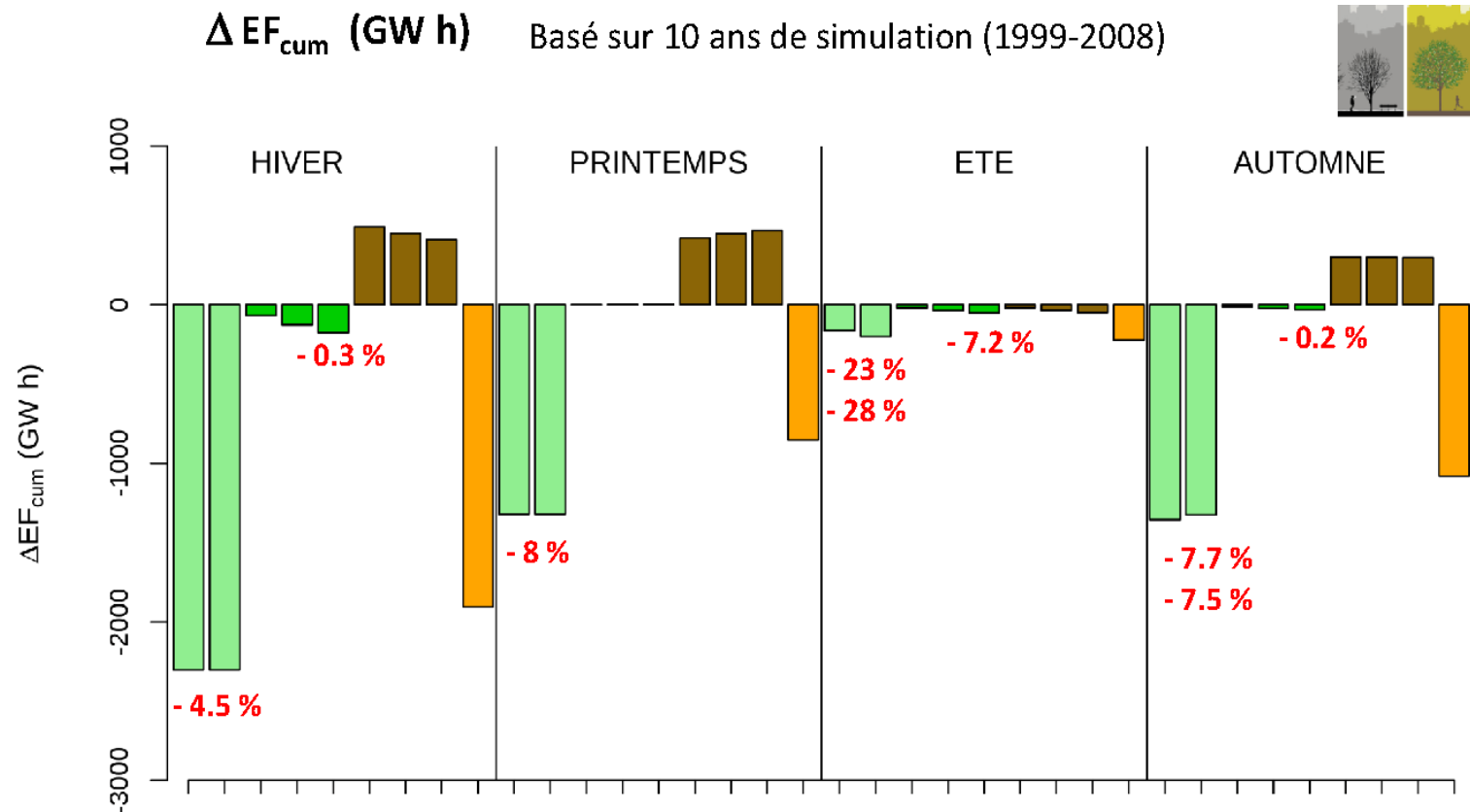
Impact du verdissement sur la consommation d'énergie liée à la climatisation

Conséquences du verdissement sur la consommation d'eau pour l'arrosage

Impact sur les températures des rues
= ΔT_{MAX}

Impact du verdissement sur la consommation d'énergie annuelle

Impacts sur la gestion de la ressource en eau



⇒ en été, toutes les stratégies diminuent la consommation d'énergie

⇒ TVE performantes toute l'année (pouvoir isolant)

⇒ la végétation arborée engendre une surconsommation d'énergie en dehors de l'été

Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

..... Impact du verdissement sur la consommation d'énergie annuelle

Impact du verdissement sur la consommation d'énergie liée à la climatisation

Conséquences du verdissement sur la consommation d'eau pour l'arrosage

Impact du verdissement sur la demande de climatisation & chauffage

Impact sur les températures des rues
= ΔT_{MAX}

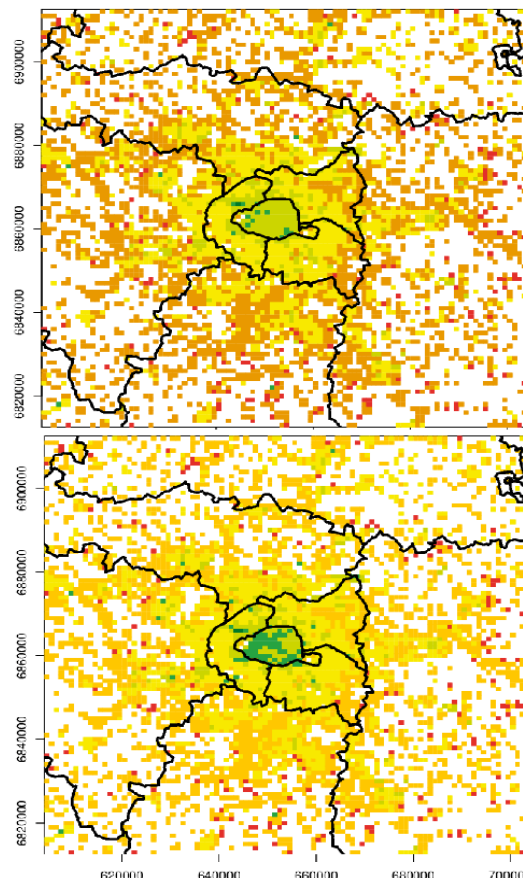
Impacts sur la gestion de la ressource en eau

REF

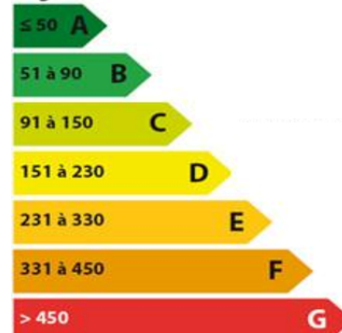
TVE

TVE irr

EP_{cum} (kW h m⁻² de plancher)

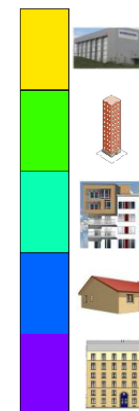
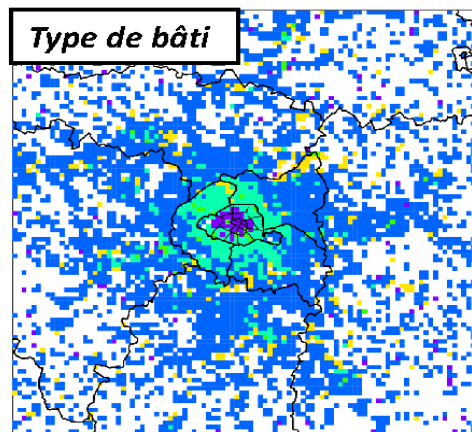


Logement économe



Logement énergivore

Type de bâti



⇒ L'îlot de chaleur urbain en hiver permettrait au centre de Paris une moindre consommation de chauffage pour des bâtiments pourtant moins bien isolés. Inversement, à l'extérieur de Paris, des bâtiments modernes (bâti Individuel) mieux isolés présenteraient des consommations énergétiques plus élevées.

Evaluation de stratégies de verdissement pour la ville de Paris

..... Impacts sur la gestion de la ressource en eau

Impact du verdissement sur la consommation d'énergie liée à la climatisation

Conséquences du verdissement sur la consommation d'eau pour l'arrosage

Impact du verdissement sur la demande de climatisation & chauffage

Impact du verdissement sur la consommation d'énergie annuelle

Impact sur les températures des rues
= ΔT_{MAX}



⇒ volumes comparés d'arrosage estival
& du ruissellement de surface



(M m ³)	Reference	TVE	TVE irr	VEG +	VEG ++	VEG +++
Arrosage estival	282	282	362	314	346	378
Ruissellement	426	370	410	379	332	286
Arrosage compensé par ruissellement ?	✓	✓	✓	✓	✗	✗

⇒ La connaissance des volumes respectifs des pertes d'eau par ruissellement et des ressources en eau nécessaires pour l'arrosage est essentiel dans la planification de la gestion de l'eau urbaine .

Évaluer l'impact du verdissement

Évaluer l'impact de la climatisation

→ Confort thermique extérieur

- ✓ La **climatisation** des bâtiments dégrade le climat extérieur.
- ✓ Le **verdissement** permet de limiter /compenser cet effet.

de + 0.25 à + 2 °C

en rafraîchissant les températures des rues

Ce rafraîchissement est d'autant + marqué que :

- le verdissement est réalisé au sol

de - 0.5 à - 2 °C

- la proportion d'arbres est élevée
- le taux de verdissement est élevé

- Les TVEs sont peu efficaces pour améliorer le confort extérieur

→ Consommation énergétique.

La **climatisation** des bâtiments engendre une surconsommation d'énergie ...

Que le **verdissement** de la ville permet de réduire et qui s'explique :

- pour la végétation de pleine terre : par le rafraîchissement de la température des rues
- pour les TVE : principalement par leur pouvoir isolant





Merci